



**Otimização energética em certificação RECS:
Análise detalhada de medidas de melhoria**

Miguel Líbano Monteiro Pritchard

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Guilherme Carrilho da Graça (FCUL)

“The Earth is what we all have in common.”

Wendell Berry

Agradecimentos

Esta dissertação representa a reta final do meu percurso académico na FCUL e quero agradecer a todos os que de alguma forma me ajudaram ao longo do meu curso.

Ao meu orientador, Professor Guilherme Carrilho da Graça pela sua orientação e motivação com o seu pragmatismo e boa disposição característicos, e pela oportunidade de estagiar na Natural Works, de onde se iniciou a minha dissertação e de onde pude absorver experiência nesta área ao longo de um ano.

À equipa da Natural Works, Pedro, Maria, Freitas, Tiago, Sofia e Francisco, por tão bem me receberem e por me acompanharem e ajudarem sempre ao longo da minha estadia na NW.

À Professora Marta Panão, pela sua disponibilidade em me guiar e ajudar com questões me surgiram e ainda em providenciar documentação de apoio para o meu trabalho.

À Mafalda, por tanto me apoiar e incentivar na reta final do meu percurso académico.

À minha mãe, porque sem o seu apoio não estaria aqui. Porque sempre fez tudo para que nada me faltasse e por me transmitir os valores que fazem de mim quem sou hoje.

Aos meus irmãos por serem um exemplo para mim e por sempre me apoiarem em todos os momentos.

Resumo

As emissões de gases associadas à queima de combustíveis fósseis têm inúmeros impactos ambientais e é alarmante a dependência de fontes poluentes e finitas. A operação dos parques edificados representa uma fatia de quase 40% em energia final consumida na União Europeia e assim, têm vindo a ser estabelecidos regulamentos e diretivas, em Portugal e na União Europeia, relacionados com a eficiência energética dos edifícios. Em alguns casos os objetivos de melhoria definidos em cada país revelam-se pouco ambiciosos ou ainda em desenvolvimento. Deve ser reforçada a aposta na geração distribuída renovável, para consumo no local ou nas proximidades.

Demonstrou-se, neste documento, o fundamental processo de certificação energética dos edifícios, estudou-se a viabilidade da geração solar fotovoltaica em edifícios de serviços para alcançar a autossuficiência energética, analisou-se a influência de regimes diferentes de geração e consumo para evidenciar a necessidade de focar num indicador objetivo como o NZEB.

Realizaram-se três casos de estudo considerando edifícios de serviços com localizações, arquiteturas e tipologias de consumo distintas, através de ferramentas de simulação. Dois dos edifícios alcançaram o standard NZEB+ enquanto que um ficou aquém do balanço anual líquido nulo. Este dispõe do rácio inferior de potência instalada para área útil interior. Destacaram-se duas causas-chave: os consumos elevados dos sistemas em operação contínua, incluindo em período nocturno; inviabilidade de instalar um parque solar de maior capacidade devido à arquitetura do edifício. O regime de operação em autoconsumo revelou-se o mais vantajoso, comparado com a alternativa de unidade de pequena produção, uma vez que a poupança associada a custos evitados se revela superior à venda total da energia produzida a um valor reduzido. Estas ferramentas não refletem ainda a realidade da transição para o novo paradigma dos “prosumers”.

Palavras-Chave: eficiência energética em edifícios, geração renovável distribuída, fotovoltaico, NZEB, autonomia energética, *prosumer*

Abstract

The emissions of gases associated with the burning of fossil fuels have numerous environmental impacts and the dependence on polluting and finite sources is alarming. The operation of building parks represents almost 40% in final energy consumption in the European Union, thus several regulations and directives have been established in Portugal and in the European Union related to buildings' energy efficiency. In some cases, the improvement objectives set out in each country are either unambitious or still under development. The focus on distributed renewable generation should be strengthened for on-site and near-site consumption.

In this document, the fundamental process of building energy performance certification was demonstrated, the feasibility of photovoltaic solar generation in service buildings was studied as a mean to achieve energy self-sufficiency and the influence of different generation and consumption regimes was analyzed to demonstrate the need to focus on an objective indicator such as NZEB.

Three case studies were performed considering service buildings with distinct locations, architectures and typologies of consumption, using simulation tools. Two of the buildings reached the NZEB + standard while one fell short of the null net annual balance. Two key causes were highlighted: high consumption of systems in continuous operation, including at night hours; unfeasibility to install a solar park of greater capacity due to the architecture of the building. The self-consumption operating regime proved to be the most advantageous, compared to the small production unit alternative, since the savings associated with avoided costs are higher than the total sale of generated energy at a reduced value. These tools still do not reflect the reality of the transition to the new paradigm of prosumers.

Keywords: buildings energy efficiency, distributed renewable generation, photovoltaic, NZEB, energy autonomy, prosumer

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas.....	ix
Capítulo 1 – Introdução	11
1.1. Enquadramento.....	11
1.1.1. Regulamentos de desempenho energético de edifícios	13
1.2. Objetivos	15
Capítulo 2 – Contexto	16
2.1. ZEB – “Zero Energy Building”	16
2.1.1. ZEB – “Zero Stand Alone Building”	16
2.2. nZEB – “Near-Zero Energy Building”	17
2.2.1. nZEB na Europa	17
2.3. RECS - Regulamento de Desempenho Energético para os Edifícios de Comércio e Serviços	18
2.4. NZEB – “Net-Zero Energy Building”	20
Capítulo 3 – Energia Solar Fotovoltaica.....	21
3.1. BAPV – Building Applied Photovoltaics	22
3.2. BIPV – Building Integrated Photovoltaics.....	23
Capítulo 4 – Metodologia.....	25
4.1. Revisão de literatura	25
4.2. Estimativa dos consumos energéticos.....	25
4.3. Estimativa da geração de energia.....	26
4.4. Resultados e discussão	26
4.5. Conclusões	27
Capítulo 5 – Casos de estudo.....	28
5.1. Biblioteca Pública e Arquivo Regional Luís da Silva Ribeiro	28
5.1.1. Análise climática	29
5.1.2. Caracterização do edifício	30
5.1.3. Estudo proposto	32
5.1.4. Resultados e discussão.....	35
5.2. Adega vitivinícola e turismo da Azores Wine Company	40
5.2.1. Análise climática	41

5.2.2. Caracterização do edifício	42
5.2.3. Estudo proposto	43
5.2.4. Resultados e discussão.....	46
5.3. Terminal de Cruzeiros de Lisboa – Edifício Complementar Sudoeste.....	51
5.3.1. Análise climática	52
5.3.2. Caracterização do edifício	53
5.3.3. Estudo proposto	54
5.3.4. Resultados e discussão.....	56
Capítulo 6 - Conclusões	60
Capítulo 7 - Referências Bibliográficas	62

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Utilização de energia por fonte, 1636 a 2000, EUA (10^{15} BTU). Fonte: IEA, 2004.....	11
Figura 1.2 - Emissões globais de carbono (10^6 toneladas métricas de carbono). Fonte: CDIAC, 2017	12
Figura 3.1 - Central Solar Fotovoltaica da Amareleja. Fonte: desconhecida.	21
Figura 3.2 - Parque solar na cobertura da Biblioteca Pública e Arquivo Regional Luís da Silva Ribeiro. Fonte: Natural Works.	22
Figura 3.3 - Edifício residencial, exemplo de aplicação não apropriada de BAPV. Fonte: HelioPower.	23
Figura 3.4 - Edifício Genyo, Granada, Espanha. Fonte: Onyx Solar.	23
Figura 3.5 - Exemplo de aplicação de filmes finos em vãos envidraçados. Fonte: DesignBuild Network.	24
Figura 5.1 - Localização do edifício, vista aérea (Norte para cima). Fonte: Google Maps.	28
Figura 5.2 - Localização do edifício, vista aérea (Norte para cima). Fonte: Google Maps.	29
Figura 5.3 – Entrada da biblioteca com o Palacete Silveira e Paulo no fundo (Rua do Morrão). Fonte: Natural Works.	29
Figura 5.4 - Zona climática do edifício da biblioteca. Fonte: LNEG.	30
Figura 5.5 - Corpo central, vista sobre piso 0. Fonte: Natural Works.	31
Figura 5.6 - Depósitos, piso -1. Fonte: Natural Works.	31
Figura 5.7 - Corpo lateral, piso 1. Fonte: Natural Works.	31
Figura 5.8 - Corpo central, piso 1. Fonte: Natural Works.	31
Figura 5.9 - Vista para corpo lateral. Fonte: Natural Works.	31
Figura 5.10 - Vista sobre corpo central e lateral. Fonte: Natural Works.	31
Figura 5.11 - Corpo central, piso 1. Fonte: Natural Works.	31
Figura 5.12 - Claraboias e sistema PV na cobertura do corpo central. Fonte: Natural Works.	31
Figura 5.13 - Parque solar na cobertura, a azul. Norte para o canto superior direito da figura.	33
Figura 5.14 - Sistema fotovoltaico na fachada do corpo central, delimitado a azul.	34
Figura 5.15 - Modelo geométrico do edifício com o parque solar (Sketchup, Euclid).....	34
Figura 5.16 - Distribuição da utilização de energia final no edifício. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).....	36
Figura 5.17 - Utilização de energia final por mês. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).	38
Figura 5.18 - Geração / Carga de consumo no dia 14/8.	38
Figura 5.19 - Geração / Carga de consumo no dia 6/1.	38
Figura 5.20 - Geração / Carga de consumo no dia 8/5.	39
Figura 5.21 - Geração / Carga de consumo no dia 16/11.	39
Figura 5.22 - Localização do terreno, vista aérea (Norte para cima). Fonte: Google Maps.	40
Figura 5.23 - Alçados Noroeste e Sudeste. Fonte: SAMI, Arquitetos.	41
Figura 5.24 - Localização do edifício, vista aérea (Norte para cima). Fonte: Google Maps.	41
Figura 5.25 - Zona climática (LNEG).	41
Figura 5.26 - Ilustração da zona exterior do edifício (Sudeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.	43
Figura 5.27 - Ilustração da zona exterior do edifício, junto aos vãos dos estúdios (Sudeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.	43
Figura 5.28 - Ilustração da zona central do edifício, junto à entrada dos estúdios (Nordeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.	43

Figura 5.29 - Ilustração da zona central do edifício, junto à sala de provas (Sudeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.	43
Figura 5.30 - Ilustração da zona central do edifício (Noroeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.	43
Figura 5.31 - Ilustração da zona central do edifício (Sudeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.	43
Figura 5.32 - Parque solar na cobertura, a azul. Norte para o canto superior direito da figura. Adaptado de: SAMI, Arquitetos.	44
Figura 5.33 - Parque solar nas fachadas do edifício, a azul. Adaptado de: SAMI, Arquitetos.	45
Figura 5.34 - Modelo geométrico do edifício com o parque solar, em ambiente Sketchup (Euclid).	45
Figura 5.35 - Distribuição da utilização de energia final no edifício. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).	47
Figura 5.36 - Utilização de energia final por mês. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).	49
Figura 5.37 - Geração / Carga de consumo no dia 6/1.	49
Figura 5.38 - Geração / Carga de consumo no dia 14/8.	49
Figura 5.39 - Geração / Carga de consumo no dia 8/5.	50
Figura 5.40 - Geração / Carga de consumo no dia 16/11.	50
Figura 5.41 - Localização dos edifícios, vista aérea (Norte para cima, edifício sudoeste marcado a azul). Fonte: Natural Works.	51
Figura 5.42 - Ilustração do terminal de cruzeiros e edifícios complementares em pontas opostas. Fonte: JLCG – Arquitetos.	51
Figura 5.43 - Alçados: sudoeste (cima) e sudeste (baixo). Fonte: JLCG Arquitetos.	52
Figura 5.44 - Zona climática (LNEG).	53
Figura 5.45: Exterior do edifício, do lado sudoeste.	53
Figura 5.46: Exterior do edifício, do lado Nordeste.	53
Figura 5.47 - Interior do edifício, piso 0.	54
Figura 5.48 - Configuração do parque solar na cobertura. Norte para o canto superior esquerdo. Adaptado de: JLCG – Arquitetos.	55
Figura 5.49 - Modelo geométrico da simulação com o parque solar na cobertura.	55
Figura 5.50 - Distribuição da utilização de energia final no edifício. Fonte: Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).	57
Figura 5.51 - Utilização de energia final por mês. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).	58
Figura 5.52 - Geração / Carga de consumo no dia 14/8.	59
Figura 5.53 - Geração / Carga de consumo no dia 6/1.	59
Figura 5.54 - Geração / Carga de consumo no dia 8/5.	59
Figura 5.55 - Geração / Carga de consumo no dia 16/11.	59
Figura 6.1 - Enquadramento do balanço anual líquido dos casos de estudo.	61

Índice de Tabelas

Tabela 5.1 - Características do parque solar da biblioteca.	35
Tabela 5.2 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime UPP.....	37
Tabela 5.3 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime de autoconsumo.	37
Tabela 5.4 - Características do parque solar do edifício da adega.	46
Tabela 5.5 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime UPP.....	47
Tabela 5.6 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime de autoconsumo.	48
Tabela 5.7 - Características do parque solar.	56
Tabela 5.8 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime UPP.....	57
Tabela 5.9 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime de autoconsumo.	58

Nota: embora a energia não seja “consumida”, mas apenas “transformada”, para efeitos desta dissertação, será utilizada a notação de consumo de energia.

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Enquadramento

Nos últimos dois a três séculos, a população mundial e o consumo de recursos têm aumentado de forma quase exponencial. A revolução industrial e a associada mecanização (e motorização) de processos podem ser consideradas como o arranque desta nova fase de consumo intensivo de recursos que procura satisfazer as necessidades de um ser humano quase insaciável. De entre estes recursos destacam-se os energéticos (carvão, petróleo, gás natural), de origem fóssil, cuja dependência se afigura em cerca de 80% a nível mundial (World Bank, IEA Statistics, 2014). Os impactos associados à utilização são já reconhecidos de forma generalizada: a emissão de gases efeito estufa como o metano e o dióxido de carbono, que são extremamente eficazes na contenção de calor na atmosfera do planeta, fomentam o aquecimento global. Este desequilíbrio acentua fenómenos climáticos extremos, a subida do nível médio das águas do mar (degelo dos calotes polares), disrupção dos ciclos de vida de inúmeros seres vivos, incluindo o próprio ser humano. De facto, não faz qualquer sentido combater a modernização do mundo, uma vez que todos os indivíduos pretendem obter os standards mais elevados de alimentação, vestuário, abrigo, etc. No entanto, este é um processo no qual deve procurar-se um equilíbrio entre a eficiência, na ótica de utilização de recursos (e o impacto inerente) e na ótica do custo. Tendencialmente, a perspetiva do custo é a única considerada. Ainda assim, nos últimos anos, a sensibilização para os impactos resultantes tem-se generalizado e promovido mudanças de comportamento, com a visão de um futuro mais sustentável.

“Throughout history, and especially during the twentieth century, environmental degradation has primarily been a product of our efforts to secure improved standards of food, clothing, shelter, comfort, and recreation for growing numbers of people. The magnitude of the threat to the ecosystem is linked to human population size and resource use per person. Resource use, waste production and environmental degradation are accelerated by population growth. They are further exacerbated by consumption habits, certain technological developments, and particular patterns of social organization and resource management.”

“Population Growth, Resource Consumption, and The Environment.”

National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, and Institute of Medicine, 1993.

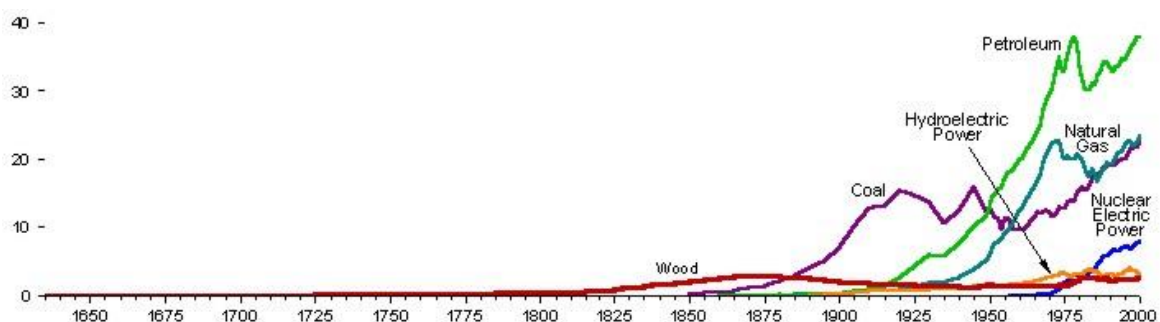


Figura 1.1 - Utilização de energia por fonte, 1636 a 2000, EUA (10^{15} BTU). Fonte: IEA, 2004.

Analisando as figuras 1.1 e 1.2 verificam-se a evolução da utilização das principais fontes de energia e as emissões resultantes desta prática, respetivamente. Embora a primeira figura se refira a dados dos EUA, pode considerar-se de certa forma representativa da evolução mundial, da escala da utilização de cada fonte e da preocupante tendência seguida.

A nível global, é alarmante a dependência de fontes de energia, que embora ainda abundantes, possuem taxas de reposição extremamente limitadas face ao ritmo de exploração, estabelecendo-se um fim de linha para a sua disponibilidade. A nível nacional revela-se uma grande fragilidade na economia, uma vez que a dependência do exterior para importação de recursos energéticos fósseis, se situava nos 75.4% em 2016. (DGEG, 2018).

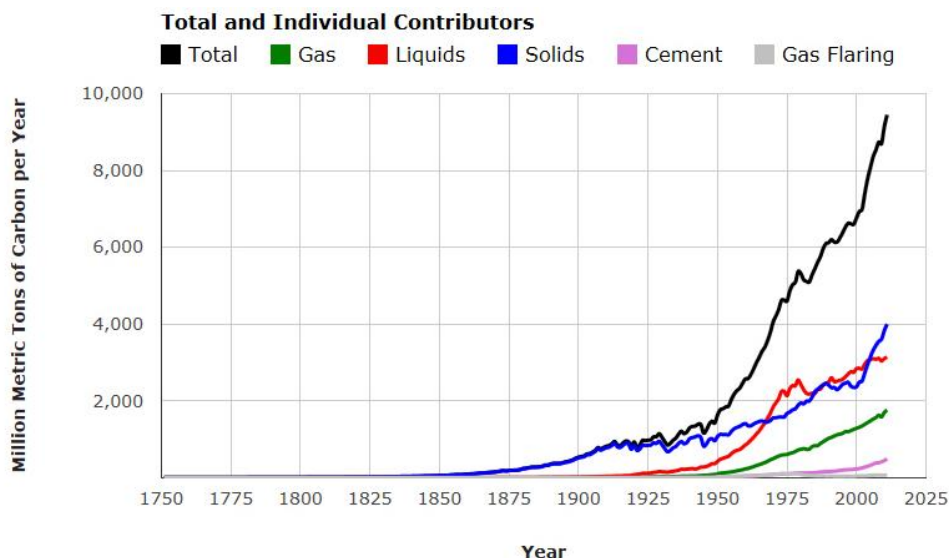


Figura 1.2 - Emissões globais de carbono (10⁶ toneladas métricas de carbono). Fonte: CDIAC, 2017

Uma significativa fatia deste consumo energético deve-se à construção e exploração de edifícios. Numa fase de evolução em que cada vez mais as atividades económicas são centradas em meios urbanos, este sector revela uma importância crescente.

O parque edificado atual, representa um consumo intensivo de energia, seja em fase de construção, exploração ou em final de vida. Na União Europeia (UE), em 2018, o sector dos edifícios (comerciais e residenciais) era o maior responsável pelo consumo de energia final e emissões de CO₂, com cerca de 36% da fatia total (Reformulação do EPBD, 2018).

O consumo dos edifícios (de habitação e serviços) reparte-se, essencialmente, nas seguintes categorias: aquecimento e arrefecimento de espaços, aquecimento de águas sanitárias, ventilação, iluminação e equipamentos (*plug-loads*). É possível atuar em cada uma destas categorias com medidas de eficiência energética de forma a otimizar o consumo, nomeadamente: dimensionamento mais eficaz e maior eficiência de operação de equipamentos e sistemas técnicos, melhorias a nível da qualidade térmica da envolvente, geração de energia via fontes renováveis, entre outras. Segundo a reformulação do EPBD de 2010, existia um potencial de redução de 11% do consumo de energia final através da implementação de medidas de eficiência energética economicamente viáveis entre 2010 e 2020. Aproximando-se o final desta década, são reforçados os compromissos para os novos prazos na reformulação do EPBD de 2018. Estando a UE bem encaminhada para alcançar os objetivos globais de 2020, estão estabelecidos objetivos ambiciosos para 2030, dos quais se destaca a redução em 40% das emissões de gases de efeito estufa (20% até 2020), face a valores de 1990. Tendo em consideração o peso dos edifícios nas emissões de GEE, serão necessárias medidas eficazes no rumo à descarbonização dos parques edificados.

1.1.1. Regulamentos de desempenho energético de edifícios

O primeiro regulamento relativo ao desempenho energético dos edifícios, em Portugal, foi implementado em 1990: RCCTE (Decreto-Lei nº40/1990, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios). Este constituiu uma primeira base regulamentar e pressuposto essencial à adoção de medidas quanto à utilização da energia nos edifícios e procurou corresponder a uma aproximação às políticas comunitárias estabelecidas. Estabeleceram-se limites às necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento e requisitos mínimos de qualidade térmica dos edifícios: desempenho da envolvente opaca e dos vãos envidraçados.

Em 1998 foi publicado o primeiro regulamento diretamente relacionado com dimensionamento e características dos sistemas de climatização: RSECE (Decreto-Lei nº118/1998, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios). Delinearam-se requisitos relativamente a limites de potência, sistemas de recuperação de calor, sistemas de regulação e controlo e sistemas de gestão de energia.

Em 2002 foi lançada a primeira diretiva europeia sobre o desempenho energético dos edifícios: EPBD (Energy Performance in Buildings Directive, diretiva nº 2002/91/CE). Ficou assim reconhecido o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios da Comunidade Europeia, com o propósito de cumprir o protocolo de Quioto. Foram estabelecidos requisitos para metodologias de cálculo do desempenho energético dos edifícios, para a certificação energética dos edifícios, inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado. Surgiu também, neste documento, uma referência a edifícios de reduzida utilização de energia ou reduzidas emissões de carbono.

Mais tarde, em 2006 foi publicado um pacote legislativo no seguimento da diretiva europeia EPBD, constituído por: SCE (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, DL nº 78/2006), a cargo da ADENE (Agência para a Energia), responsável por assegurar o funcionamento regular do sistema, no que respeita à supervisão dos peritos qualificados e dos processos de certificação, aprovar o modelo dos certificados de desempenho e disponibilizar toda a informação necessária *online*; republicação do RCCTE (DL nº 80/2006), estabelecendo novos requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e para novos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, nomeadamente ao nível das características da envolvente. Foram também impostos limites às necessidades nominais energéticas úteis para climatização, produção de águas quentes e necessidades nominais globais de energia primária e imposta a instalação de painéis solares térmicos; republicação do RSECE (DL nº 79/2006), que estabelece novos requisitos a nível de conforto térmico e qualidade do ar interior, em termos da conceção da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção dos sistemas de climatização, princípios de utilização racional de energia, limites de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes e para os edifícios em geral.

Em 2010 foi publicada a revisão ao EPBD (Diretiva nº 2010/31/UE) com a finalidade de reforçar ações mais concretas para atingir o potencial de eficiência energética nos edifícios. Esta diretiva, de uma forma geral, estabeleceu *standards* de desempenho e de inspeção mais exigentes. Um dos objetivos foi também, reduzir as disparidades entre as respostas dos estados-membros na aplicação de regulamentos e incentivos medidas de eficiência. Foi aqui efetivamente introduzido o conceito de “edifício com necessidades quase nulas de energia”, definido como um edifício com um desempenho energético muito elevado e cuja necessidade energética deve ser coberta na sua maioria via fontes de energia renováveis, preferencialmente no local ou nas proximidades do local de consumo.

A resposta à EPBD-2 foi publicada em 2013 com o conjunto SCE, RECS e REH (DL nº 118/2013). O primeiro compreende a revisão ao Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, agora integrado num só diploma com o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), existindo a clara separação entre REH e RECS. O REH assume como posição de destaque o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas. O RECS, além dos já mencionados para edifícios de habitação, acresce a instalação, operação e manutenção de sistemas técnicos. Assim, além de estabelecer novos requisitos para a qualidade térmica dos edifícios, são também introduzidos requisitos de eficiência energética para os sistemas técnicos dos edifícios. A valorização da utilização de fontes de energia renováveis continua através de incentivos e da lógica custo-benefício. O conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia passa a constituir o padrão para a nova construção a partir de 2020, ou de 2018, no caso de edifícios novos de entidades públicas.

A mais recente atualização do DL nº 118/2013 foi publicada através do DL nº 28/2016, constituindo a quarta alteração ao original. Esta alteração surgiu no seguimento de dúvidas suscitadas pela UE relativamente ao alcance de alguns conceitos empregues no Decreto-Lei anterior. Foi reforçado que a viabilidade económica, como justificação do cumprimento da aplicação dos requisitos mínimos de desempenho energético nas intervenções, não deve estar associada a uma mera faculdade do investidor, mas explicitamente interligada com os estudos que suportam os níveis ótimos de rentabilidade. Foi também redobrada a abrangência dos requisitos técnicos na instalação de novos sistemas técnicos, ou substituição dos existentes, incluindo qualquer tipo de intervenção (Silva, 2017). Finalmente, foi também reforçada a definição de “edifício com necessidades quase nulas de energia”.

Este conceito de “edifício com necessidades quase nulas de energia” ou “nZEB” tem certo um grau de subjetividade associado. Isto deve-se essencialmente ao facto de que os estados-membros apresentam condições climáticas muito distintas, especialmente em latitude. Na Suécia, por exemplo, existe uma grande necessidade de aquecer os espaços, face às temperaturas extremas verificadas no exterior. Em Portugal a prioridade, de uma forma geral, será certamente o arrefecimento dos espaços. Assim, pretende-se adaptar os *targets* energéticos às condições de cada estado-membro. Na Suécia, será extremamente valorizada a necessidade de isolar a envolvente, enquanto que em Portugal o mesmo acontecerá para o controlo dos ganhos solares. O rendimento da aplicação destas medidas não será igual entre estados-membros. Embora seja compreensível, esta abrangência na definição do conceito a aplicar resulta em atrasos e disparidades, entre estados-membros, na adaptação dos seus regulamentos internos.

Assim, surge a necessidade de considerar um outro conceito: “edifício de balanço energético anual líquido nulo” ou “NZEB” (Net-Zero Energy Building). Este deverá ser o target a atingir: um edifício cuja geração local de energia de origem renovável compensa os próprios consumos, que será detalhado mais adiante nesta dissertação. Este pode ser utilizado como um indicador objetivo na determinação da capacidade de autossustentação energética de um edifício.

Não sendo possível, por razões óbvias, um edifício anular o seu consumo energético, é necessária a geração de energia local para compensar as suas necessidades energéticas. Assim, a solução mais comum em meio urbano é a implementação de um parque solar fotovoltaico. R. Perez e M. Perez (2015), ilustram o enorme potencial de exploração de energia solar, em comparação com outras fontes de energia renováveis e não renováveis, afirmando-se como o recurso de maior disponibilidade. Em termos de aproveitamento, o conceito, de uma forma simplificada, traduz-se na transformação, via um processo fotoelétrico, de parte da energia associada à radiação solar em energia elétrica. Esta aplicação no contexto dos edifícios pode ser efetuada, em módulos fotovoltaicos aplicados (BAPV) ou integrados (BIPV) em edifícios.

1.2. Objetivos

Esta dissertação pretende ajuizar os seguintes aspetos:

- Demonstrar o processo de certificação energética realizado ao abrigo do regulamento português, absolutamente crítico para fomentar as melhorias em eficiência energética;
- Verificar de que forma pode contribuir a integração da geração de energia fotovoltaica em edifícios de serviços, com diferentes características, localização e perfis de consumo, para a redução das necessidades de utilização de fontes de energia não renováveis e, possivelmente, para atingir a autossustentabilidade. Desta forma pretende-se compreender a viabilidade e os obstáculos desta solução, neste contexto;
- Analisar, através de três casos de estudo, em que medida as interpretações e aplicações dos conceitos à volta de nZEB, NZEB e ZEB serão eficazes no sentido da avaliação do impacto do sector dos edifícios no consumo de energia. De que maneira a caracterização de um edifício “consumidor-produtor” pode levar a conclusões diferentes, num contexto de geração descentralizada, onde o consumidor assume também o papel de produtor;
- Evidenciar a necessidade de instituir um indicador apropriado e objetivo, como o conceito de NZEB, com vista à prática de medidas de eficiência eficazes para a compatibilização com os objetivos definidos para Portugal, para a Europa e para o Mundo.

Capítulo 2 – Contexto

No presente capítulo pretende-se contextualizar o estudo para os diversos conceitos relacionados com os edifícios energeticamente autossuficientes, os edifícios de necessidades quase nulas de energia e o seu enquadramento nos regulamentos dos estados-membros da UE. É ainda detalhado o regulamento do desempenho energético para edifícios de comércio e serviços.

2.1. ZEB – “Zero Energy Building”

O primeiro edifício capaz de cobrir as suas necessidades de aquecimento surge num projeto pioneiro do MIT, nos EUA em 1939, denominado Solar I (H.P. Gang, 2012). Esta casa, semelhante a um pequeno edifício de habitação unifamiliar, dispunha de um sistema constituído por: 14 painéis solares térmicos na cobertura inclinada e um colossal depósito de água, instalado na cave, de volume semelhante ao da divisão que se pretendia aquecer: 65,000 L. O calor do depósito era transferido para a casa através de ventiladores mecânicos. Foram ainda desenvolvidas as Solar House II, III e IV nas décadas seguintes.

Mais tarde surgiu também o conceito de *Zero Energy Building*, (ZEB), no final dos anos setenta, num projeto de um edifício de habitação construído na Universidade Técnica da Dinamarca, denominado de *zero-energy*, combinando aproveitamento de energia solar e melhorias da envolvente térmica. De acordo com Esbensen e Korsgaard (1977), esta habitação era autossuficiente em produção do calor necessário para cobrir as necessidades de aquecimento ambiente e de águas, considerando as condições climáticas locais. Isto é, este edifício foi dimensionado de forma a ser aquecido todo o Inverno sem qualquer fonte de energia “artificial”, tendo como fonte principal de energia a energia solar. Assim, edificada com materiais altamente isolantes (até 40 cm de lã mineral), o aquecimento na habitação era fornecido por um coletor solar térmico (42 m²), um termoacumulador (30 m³, com 60 cm de isolamento) e um sistema de distribuição de calor. Foi ainda implementado um sistema de recuperação de calor na ventilação. É de realçar que, para os sistemas de bombagem associados ao aquecimento é necessária uma alimentação de energia elétrica correspondente a 5% da energia solar útil anual.

A autossuficiência apenas em necessidades de aquecimento não é suficiente para um edifício, atualmente se qualificar como um ZEB. Para um contexto real e atual não é viável considerar apenas as necessidades de aquecimento, especialmente considerando edifícios de serviços, cujos consumos de energia se apresentam elevados em iluminação, ventilação e arrefecimento.

2.1.1. ZEB – “Zero Stand Alone Building”

Laudsten (2008) define um ZEB como um edifício que não utiliza combustíveis fósseis e obtém toda a energia necessária através de energia solar e outras fontes de energia renováveis. Assim, este edifício é dimensionado com a capacidade de se autossustentar a 100%, em todos os consumos energéticos, através do armazenamento para consumo noturno ou em períodos de menor disponibilidade solar como no Inverno. Este pode denominar-se também, um *off-grid building*, uma vez que não dispõe de ligação à rede elétrica, não realizando qualquer troca energética com a rede. Desta forma, é claro o enquadramento deste edifício nas definições, uma vez que toda a energia necessária é efetivamente produzida no local e toda a energia gerada é consumida no edifício, além das perdas por armazenamento. No entanto, a

implementação deste sistema nem sempre é factível. Dependendo do volume e perfil de consumo, da localização e da dimensão do edifício, pode ser necessário um parque de geração de energia renovável de dimensões tais, que não se enquadrem no espaço disponível. Para um meio cada vez mais urbano, onde existem infraestruturas e redes de distribuição de energia executadas, este cenário não se apresenta como o mais pragmático.

2.2. nZEB – “Near-Zero Energy Building”

Os nZEB surgem na reformulação da EPBD (2010) como uma ferramenta para aumentar o *stock* existente de NZEBs na UE. Assim, a partir de 2020, todos os edifícios novos devem ser *near*, ou *nearly* ZEB. São definidos no documento como edifícios de elevado desempenho energético, isto é, que a quantidade de energia necessária é extremamente reduzida e é essencialmente coberta via fontes de energia renováveis. Assim, os estados-membros devem adaptar esta definição às suas próprias condições locais, estabelecendo os limites e requisitos adequados.

De certa forma, um nZEB pode ser, por exemplo uma “*passive house*”, definida pelo *Passive House Institute* (2015) como um edifício energeticamente eficiente, confortável e acessível. Nesta ótica, as necessidades de consumo relacionadas com aquecimento, arrefecimento e ventilação, são extremamente reduzidas e maioritariamente satisfeitas via fontes de energia renováveis.

A eficácia deste conceito é, no entanto, extremamente limitada ao se considerar uma “necessidade quase nula de energia”. Embora esta medida seja um “esforço” no sentido de fomentar a construção de edifícios mais eficientes adequados às condições locais, nenhum edifício terá necessidades nulas de energia e um edifício destes num país de clima mais exigente, como os escandinavios, terá necessidades de energia muito superiores comparativamente às de um edifício num clima mais ameno como o de Portugal.

2.2.1. nZEB na Europa

A transposição da diretiva europeia para os estados-membros revela-se ainda, desigual, de acordo com o mais recente relatório de progresso da ECOFYS (2014). Por exemplo, entre outros países, a Dinamarca dispõe já de *targets* bem delineados, mas outros como Itália, apesar de já se encontrarem com objetivos definidos para as *shares* de renováveis, contam, ainda, com a definição da aplicação por aprovar. E ainda, Portugal, cuja definição do *target* a aplicar se encontra aprovada, mas sem indicadores numéricos acertados. Assim, existem países que cuja definição de nZEB está oficializado, no entanto, não existe um limite concreto de consumo energético ou um requisito mínimo de *share* de consumo via renováveis.

Na EPBD-2, como explicado anteriormente, o “edifício com necessidades quase nulas de energia” é um edifício com um desempenho energético muito elevado e cuja necessidade energética deve ser coberta na sua maioria via fontes de energia renováveis, preferencialmente no local ou nas proximidades do local de consumo. O relatório técnico REHVA (2013), sugere os seguintes indicadores: energia primária, ou seja, o balanço de energia não-renovável por metro quadrado de área útil; o rácio de energia renovável, isto é, a fração total de energia primária que corresponde a energia de fontes renováveis. Panão (2016) afirma que um nZEB teria, idealmente, o indicador de energia primária reduzido e um rácio de energia renovável elevado, no entanto, os limites impostos nos regulamentos por alguns dos

estados-membros revelam uma grande amplitude de valores. Panão (2016) mostra também, a fragilidade destes e de outros indicadores como o *on-site energy fraction* (OEF) e sugere a utilização do overall renewable energy fraction (OREF).

Na Dinamarca, de acordo com o relatório de progresso da ECOFYS (2014), os nZEBs são definidos sob classes de performance, que vão sendo atualizadas: um edifício residencial é classificado como “*Building Class 2020*” quando o total de necessidades de aquecimento, ventilação e águas quentes não ultrapassar os 20 kWh/m²/ano (de área climatizada). Para os restantes edifícios, as necessidades para aquecimento, ventilação, arrefecimento, águas quentes e iluminação não podem ultrapassar os 25 kWh/m² (de área climatizada) anuais. Estabelece também *shares* de renováveis obrigatórias para 2020, entre 51% a 56%.

Em Itália, o mesmo documento descreve o “*nearly zero-energy building*” como um edifício que cumpre os seguintes requisitos: índice de desempenho energético em época de aquecimento; índice de desempenho térmico útil na época de arrefecimento, incluindo controlo de humidade; o índice de desempenho energético global, expresso em energia primária não renovável; índice de desempenho energético global, expresso em energia primária total. Estes valores têm de ser significativamente inferiores quando o edifício é comparado com um edifício de referência. Esta definição carece ainda de aprovação e não existe um indicador numérico definido. Relativamente à *share* de renováveis, será obrigatório para novos edifícios e em grandes intervenções, que o consumo para águas quentes seja coberto em 50% por renováveis, e que o total de consumo para aquecimento, arrefecimento e águas quentes seja coberto na mesma proporção por renováveis.

Em Portugal, esta definição encontra-se estabelecida e aprovada, no entanto, não existe ainda um indicador numérico exato, nem a proporção de renováveis obrigatória para cobrir o consumo do edifício. No relatório de progresso da ECOFYS (2014), o conceito de “edifício com necessidades quase nulas de energia”, ou nZEB, refere-se a edifícios com um desempenho energético elevado, cujas necessidades energéticas são largamente cobertas por fontes de energia renováveis. Como *targets* intermédios, o documento refere o Decreto-Lei nº118/2013 (atualizado em 2016), que estabelece condições para os edifícios novos e sob grande intervenção, tendo como objetivo final, obter edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Analisando as definições descritas anteriormente, pode-se afirmar que existem disparidades significativas na aplicação deste conceito, entre países. O target existente deve ser o de um edifício capaz de gerar tanta energia quanto este necessita para a sua operação anual. Este conceito é mais exigente, mas mais objetivo e será certamente mais eficaz na descarbonização dos parques edificados.

2.3. RECS - Regulamento de Desempenho Energético para os Edifícios de Comércio e Serviços

A componente do regulamento dedicada aos edifícios de comércio e serviços, constituindo parte da transposição da EPBD-2, encontra-se em vigor com a mais recente atualização de 2016. O RECS estabelece as regras a observar no projeto, na construção, na alteração, na operação e na manutenção de edifícios de comércio e serviços e os seus sistemas técnicos, bem como os requisitos mínimos para a caracterização do seu desempenho, no sentido de promover a eficiência energética e a qualidade do ar interior (artigo 32.º DL 118/2013). Assim, juntamente com as respetivas portarias e despachos, este regulamento determina aspetos fundamentais no desenvolvimento de um projeto. Através do processo

de certificação energética é verificada a aplicação das soluções corretas e apropriadas para cumprir as normas instituídas. A classificação é denominada Índice de Eficiência Energética (IEE) cujo valor é associado a uma classe (de **F** a **A+**) e pode ser determinada via três métodos, dependendo do projeto em análise: cálculo dinâmico simplificado (monozona), consumo efetivo e simulação dinâmica multizona. O primeiro é efetuado no caso de Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços (PES, área inferior a 1000 m²), através de um modelo de folha de cálculo. O método do consumo efetivo é efetuado para o caso de edifícios existentes. Consiste na verificação dos consumos via medições e faturas de energia. A simulação dinâmica multizona pode ser utilizada para todas as circunstâncias (PES, GES, seja novo, existente ou intervencionado), uma vez que é o método mais detalhado (nos casos em que não é possível efetuar medições *in situ*).

O processo seguido pelos peritos qualificados (PQ), responsáveis pelo processo de certificação, encontra-se adaptado no capítulo 4.2 deste documento. A obtenção da classe energética depende dos consumos distribuídos por tipologia. A equação (2.1) demonstra de uma forma simplificada, o cálculo do rácio IEE:

$$R_{IEE} = IEE_{pr} \div IEE_{pr_REF} \quad (2.1)$$

$$IEE_{pr} = IEE_S - IEE_{REN} \quad [\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}] \quad (2.2)$$

$$IEE_{pr_REF} = IEE_{S_REF} \quad [\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}] \quad (2.3)$$

Onde IEE_T corresponde ao total de consumos do tipo T, nomeadamente: ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica, equipamentos de frio, iluminação dedicada e de utilização pontual e todos os restantes equipamentos não incluídos no IEE_S . Este último corresponde aos consumos do tipo S, nos quais se incluem os relacionados com: aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humedificação e desumidificação, ventilação e bombagem em sistemas de climatização, aquecimento de águas sanitárias e de piscinas, iluminação interior e exterior, ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes. IEE_{pr_REF} corresponde aos consumos do tipo S para o modelo de referência. IEE_{REN} representa o total de geração de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis, destinadas ao autoconsumo, isto é, efetivamente utilizada ou passível de ser utilizada no edifício. Estes valores são de base anual, por metro quadrado de área útil e em energia primária, cujo fator de conversão traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária, de acordo com o Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia.

Na mais recente atualização do DL nº118/2013, foram incluídos nos consumos do tipo S os ascensores, escadas mecânica e tapetes rolantes e iluminação exterior. Pode-se colocar a seguinte questão: se deveria a totalidade dos consumos ser utilizada para efeitos de cálculo do rácio IEE. Ou seja, incluir no tipo S todos os restantes consumos. Os equipamentos denominados *plug-loads* (do tipo T), como computadores, equipamentos de frio, aparelhagens, televisões e outros eletrodomésticos podem ter perfis de utilização e consumos de certa forma difíceis de prever com segurança. Assim, estes são geralmente considerados como iguais no modelo de referência e no modelo do projeto em análise.

2.4. NZEB – “Net-Zero Energy Building”

Um NZEB é definido por Iqbal (2004) e Laudsten (2008) como um edifício cujo balanço energético, de entradas e saídas, ao longo de um ano é nulo. Este balanço pode ser efetuado considerando períodos mais ou menos longos. No entanto, dado à natureza cíclica do clima anual, este é o período normalmente considerado. Ou seja, este exporta para as redes de distribuição a mesma quantidade de energia que é importada. Assim, não é exigido o consumo de energia de origem fóssil para todas as necessidades do edifício.

Embora nestes termos, não esteja errada, esta definição não será totalmente precisa, se forem considerados outros fatores. Sartori (2012), afirma que a simples satisfação de um balanço anual não é suficiente para caracterizar corretamente um NZEB. Se a rede elétrica ou de calor que fornece este edifício possuir uma *share* de renováveis inferior a 100%, como é de facto, a realidade, o consumo do edifício em importação estará associado a um consumo energético via fontes de energia não renováveis. Em 2018, as *shares* de produção de renováveis na R.A.A e na R.A.M foram de, respetivamente, 39% e 31%, de acordo com a APREN (2019). Em Portugal continental, o consumo associado a renováveis foi de 52% de acordo com a REN (2019). Ainda assim, pode também considerar-se que este edifício estará a compensar esta importação de energia de origem fóssil ao exportar para a rede energia de fonte renovável.

Torcellini, Pless e Deru (2006) sustentam que a definição de NZEB depende da fronteira e da métrica utilizadas. De facto, podem existir várias definições apropriadas, atendendo à ótica e à abordagem tomadas: proprietários de edifícios poderão estar mais preocupados com custos, enquanto que os organismos relacionados com certificação energética de energia estarão mais orientados para valores de energia primária. Pode-se considerar ainda o ponto de vista de um projetista, que estará mais interessado em valores de energia final, ou, para efeitos de impacto ambiental, números relacionados com emissões. São assim sugeridos quatro conceitos:

- *Net Zero Site Energy (Building)*: um edifício de balanço energético anual zero, quando contabilizado em energia final, no local de consumo;
- *Net Zero Source Energy (Building)*: um edifício de balanço energético anual zero, quando contabilizado em energia primária, isto é, tendo em consideração toda a energia necessária para a geração, conversão e transporte até ao local de consumo. Neste caso, é frequente a utilização de fatores de conversão tabelados de acordo com a legislação em vigor, que nem sempre refletem a realidade da geração de energia, como no caso de Portugal (Panão, 2016).
- *Net Zero Energy Costs (Building)*: neste contexto, o balanço anual entre o total de transferências monetárias para pagamento de importação e exportação entre o proprietário e a rede de energia, é igual a zero.
- *Net Zero Energy Emissions (Building)*: o total de emissões gerado pela importação de energia, via fontes de energia não renováveis, é igualado pelo total de emissões evitado pela geração de energia renovável no local de consumo.

Assim, entende-se que de uma forma geral, um NZEB é um edifício de elevado desempenho energético que se encontra ligado a uma rede elétrica, possui geração de energia no local ou nas proximidades, exportando o excedente de produção (quando o consumo é inferior à geração) para a rede de distribuição de energia, importando da rede quando a geração é insuficiente. Nesta ótica pode-se afirmar então, que métrica e fronteira utilizadas para avaliar o NZEB influenciam a caracterização do balanço anual. O primeiro e o terceiro indicador serão utilizados nesta dissertação de forma a avaliar os casos de estudo, refletindo efetivamente os balanços energéticos do edifício.

Capítulo 3 – Energia Solar Fotovoltaica

A descoberta do processo fotoelétrico remonta ao século IXX (Photoelectric effect, 2018). A sua investigação prosseguiu pelo século seguinte incluindo um artigo de Albert Einstein e patentes de Edward Weston e Nikola Tesla. Em meados do século XX, a Bell Laboratories apresentou células solares de Silício, com 6% de eficiência, marcando o início da era comercial da energia solar fotovoltaica (D. Chapin, C. Fuller, G. Pearson, 1954). Até ao final do século XX, e no século XXI, o investimento em investigação e desenvolvimento acelerou, assim como os incentivos por parte dos governos. Atualmente, os sistemas solares fotovoltaicos apresentam elevada fiabilidade, com um longo ciclo de vida, impacto ambiental mínimo e custos cada vez mais competitivos.

A energia elétrica é gerada através do processo fotoelétrico (J. Morrison, 2010). De uma forma simplificada, a incidência de fótons luminosos em camadas de um material semicondutor como o silício, provoca a movimentação de eletrões, resultando na geração de uma corrente elétrica. Este material semicondutor é tipicamente distribuído em pequenas células que, agrupadas e ligadas em série, formam um módulo solar fotovoltaico.

O sistema é, de uma forma geral, composto por um ou mais módulos solares fotovoltaicos, e um ou mais inversores de forma a converter a energia elétrica gerada em corrente contínua para corrente alternada. Tipicamente é também associado um controlador de carga para efetuar a monitorização e regulação do sistema.

Esta fonte de energia não apresenta, naturalmente, a mesma segurança de abastecimento que uma central termoelétrica. A dependência da posição relativa do sol, isto é, do ciclo dia-noite, verão-inverno e das próprias condições atmosféricas, pode tornar a implementação de um sistema deste género menos atrativa (Global CCS Institute, 2012). No entanto, através de dimensionamento apropriado é possível obter a instalação ideal para as condicionantes climáticas de cada local. Adicionalmente, é possível complementar a instalação através de um sistema de armazenamento: químico (baterias), hidráulico (depósito com bombagem), térmico (depósito de calor), entre outros, sendo o mais comum o armazenamento por baterias. Desta forma, possibilita-se uma maior autonomia, colmatando o desfasamento entre a geração e a procura de energia num ciclo diário ou semanal (M. Taufiqul et. al, 2013).



Figura 3.1 - Central Solar Fotovoltaica da Amareleja. Fonte: desconhecida.

Apresenta-se também outro desafio, mais específico à implementação destes sistemas em centros urbanos em constante expansão. Tipicamente a geração de energia solar fotovoltaica é efetuada através de parques solares, ocupando uma área de grandes dimensões, com uma grande capacidade instalada.

Em meio urbano, a área necessária para a instalação de um parque solar, não se encontra disponível, ou simplesmente não é interessante ou rentável neste contexto, tendo em conta o custo crescente do metro quadrado nos grandes centros. Em meio rural, por exemplo, pode não ser permitida nem indicada a instalação de um sistema como este devido à destruição de património paisagístico. Assim, a implementação desta solução de forma mais integrada com a arquitetura e paisagem do local é necessária, rentabilizando as fachadas e coberturas dos edifícios para geração de energia.

Desta forma apresentam-se os conceitos de *Building Applied Photovoltaics* (BAPV) e de *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV). O primeiro conceito é o mais comum atualmente, em ambiente urbano, enquanto que o segundo é um conceito em desenvolvimento, mas ainda assim, já com inúmeras aplicações a nível global (BIPV Report, 2017).

No final de 2018 a capacidade total instalada de energia solar fotovoltaica, no mundo, atingiu os 509 GW. Em 2018 apenas, a potência instalada cresceu 102 GW, de acordo com o Global Market Outlook for Solar Power (2019), mantendo-se elevadas as expectativas para o crescimento do solar fotovoltaico.

3.1. BAPV – *Building Applied Photovoltaics*

Em meio urbano, esta é a mais comum implementação de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, potenciada pelo decréscimo do custo por watt dos painéis fotovoltaicos, para menos de metade nos últimos 10 anos (PVSITES, 2016). A sua aplicação é geralmente efetuada nas coberturas dos edifícios, com recurso a apoios fixos, procurando maximizar a performance da instalação dentro das condicionantes estéticas e técnicas que se verificarem. Assim, em coberturas planas os módulos terão tipicamente a inclinação e orientação otimizadas, enquanto que em coberturas inclinadas estes serão ajustados ao declive e orientação da cobertura.



Figura 3.2 - Parque solar na cobertura da Biblioteca Pública e Arquivo Regional Luís da Silva Ribeiro. Fonte: Natural Works.

Na figura 3.4 apresenta-se um caso no qual a componente estética do edifício terá sido totalmente menosprezada. Casos como este podem fomentar resistência por parte das populações à implementação

de energia solar fotovoltaica em edifícios. Ainda assim, de uma forma geral as aplicações são bem-sucedidas e certamente, bem-recebidas.

3.2. BIPV – Building Integrated Photovoltaics

Como indica a designação, o sistema BIPV é instalado diretamente nas superfícies do edifício (fachadas e coberturas), substituindo a última camada do edifício para o exterior. Assim o sistema fica integrado com a construção do edifício, fazendo parte da própria arquitetura, como acabamento ou sombreamento, por exemplo. Este conceito permite a geração de energia no local sem a ocupação de área útil (BIPV Report, 2015). Ao contrário do BAPV, este conceito procura dar prioridade à conjugação estética com a arquitetura dos edifícios.

Assim, a implementação destes sistemas apresenta desafios, nomeadamente no que diz respeito ao equilíbrio entre a estética do edifício e o desempenho ideal do sistema. A orientação, inclinação e obstrução do módulo fotovoltaico são fatores que influenciam de forma determinante a capacidade de transformação de energia solar em energia elétrica e assim, o retorno do investimento e a viabilidade da aplicação (A. Durusu, 2016 e S. Shareef, 2017). Determinadas aplicações poderão não ser de todo viáveis. Sendo pensado desde a fase de projeto de um edifício, será mais eficaz a integração de soluções como a demonstrada na figura 3.4.



Figura 3.3 - Edifício Genyo, Granada, Espanha. Fonte: Onyx Solar.



Figura 3.4 - Edifício residencial, exemplo de aplicação não apropriada de BAPV. Fonte: HelioPower.

Na figura 3.3 encontra-se representado o Edifício Genyo localizado em Espanha. Este representa um bom exemplo da aplicação de BIPV. A fachada do edifício é ventilada, com a superfície exterior envidraçada, constituída parcialmente por módulos solares fotovoltaicos de silício amorfo. Através desta implementação, além da geração de energia renovável localmente, são ainda reduzidas as necessidades de arrefecimento do edifício, através da redução de ganhos solares (Onyx Solar).

Uma solução que se revela cada vez mais apelativa é a utilização de filmes finos constituídos tipicamente por silício amorfo. Estes possuem eficiência e capacidade de geração inferiores aos tradicionais módulos fotovoltaicos, no entanto, são extremamente versáteis na sua aplicação (M. Aghaei, 2012). É possível efetuar a sua instalação em superfícies com curvatura ou em vãos envidraçados, por exemplo. Neste último caso, variando a transparência e a coloração do filme fotovoltaico, é possível controlar o grau de iluminação natural que entra para o interior do edifício, e desta forma, controlar os ganhos térmicos pelos vãos envidraçados.

A capacidade instalada de BIPV representava 2.3 GW, no final de 2017 (Floor J.W.Osseweijer et. al., 2018).



Figura 3.5 - Exemplo de aplicação de filmes finos em vãos envidraçados. Fonte: DesignBuild Network.

Capítulo 4 – Metodologia

Este capítulo compreende os passos implementados, de forma a atingir os objetivos equacionados. Destacam-se quatro etapas: a revisão de literatura, o processo de estimar os consumos energéticos dos edifícios recorrendo e descrevendo a metodologia da certificação energética dos edifícios selecionados para caso de estudo, avaliação da implementação da medida proposta neste contexto, estimando a geração de energia e a reflexão e conclusão sobre dados recolhidos nas análises consumo-geração.

Os modelos desenvolvidos para a simulação dinâmica multizona dos casos de estudo foram elaborados com a finalidade da certificação energética dos edifícios nestes caracterizados, como parte do trabalho por mim desenvolvido no escritório de projetos de engenharia Natural Works, entre 2017 e 2018.

4.1. Revisão de literatura

Esta fase envolveu a investigação de documentos como artigos e relatórios pertinentes ao tema que se pretende estudar. Desta forma, foi possível estabelecer um enquadramento para o estudo, assim como apreender a evolução e o panorama atual dos vários conceitos em análise. Identificaram-se e expuseram-se diversas definições como: ZEB, NZEB e nZEB. Os artigos analisados foram fundamentais de forma a refletir sobre o enquadramento dos edifícios nos padrões NZEB. Apresentaram-se os conceitos de BIPV e BAPV e o seu paradigma atual. Expôs-se também a cronologia das várias fases de implementação de regulamentos relacionados com a performance dos edifícios e dos sistemas e entrando em maior detalhe no regulamento dedicado aos edifícios de serviços.

4.2. Estimativa dos consumos energéticos

Em linha com o RECS, a fase de certificação ou pré-certificação dos edifícios envolve um procedimento rigoroso, no qual se inclui a estimativa dos consumos energéticos dos edifícios através da simulação dinâmica multizona, fundamental para aferir sobre o enquadramento do edifício no conceito de NZEB. A elaboração do pré-certificado é realizada para fase de licenciamento. O certificado energético final é efetuado para verificar e validar as características do edifício e dos sistemas instalados após a sua construção ou intervenção. O procedimento efetuado encontra-se sintetizado nos seguintes passos:

1. Levantamento das características do edifício, e dos sistemas técnicos, equipamentos, condições climáticas e tipologias de ocupação;
2. Verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade da envolvente e dos sistemas técnicos do edifício;
3. Input da geometria, baseada em *AutoCAD*, em ambiente de software *DesignBuilder* ou *SketchUp + Plugin Open Studio*;
4. Caracterização das soluções construtivas e dos sistemas técnicos predominantemente em ambiente *EnergyPlus*;
5. Extração dos resultados da simulação em *EnergyPlus* e se possível, validação do modelo com dados existentes de consumo energético do edifício;
6. Compilação e tratamento dos dados obtidos em função dos sistemas técnicos existentes;

7. Paralelamente a este modelo é gerado um duplicado com as características de referência definidas pelo regulamento, com o qual será comparado o modelo do edifício em análise para obtenção da classe energética;
8. Preenchimento no portal SCE das características do edifício e consumos/custos/emissões de ambos os modelos, e obtenção da classe energética correspondente. Submissão da documentação exigida, dependendo do processo. Previamente à emissão do certificado energético definitivo, é necessária uma visita ao local pelo Perito Qualificado, para verificação de cumprimento com o exigido pelo regulamento.

Os resultados obtidos e utilizados para avaliar os balanços energéticos dos casos de estudo, derivam do processo de certificação dos edifícios e de todos os dados associados ao mesmo. Desta forma, não só tive a oportunidade de participar no processo de certificação de edifícios e como ainda de utilizar o trabalho realizado para esta dissertação.

4.3. Estimativa da geração de energia

A seguinte etapa corresponde à análise da viabilidade e à implementação em ambiente de simulação da medida de melhoria proposta para estudo, isto é, a instalação de módulos fotovoltaicos nas coberturas e fachadas dos edifícios. O procedimento encontra-se descrito nos seguintes passos:

1. Levantamento da área disponível, em cada edifício, para integração de módulos solares fotovoltaicos (coberturas, fachadas, vãos envidraçados);
2. Seleção das características de um módulo solar fotovoltaico apropriado para o caso de estudo, preferencialmente, com um elevado desempenho;
3. Completar a geometria do modelo de simulação com a implementação da geração de energia solar fotovoltaica, introduzir as características do parque solar e proceder com os cálculos de simulação (*SketchUp* e *EnergyPlus*);
4. Compilação e tratamento dos novos dados obtidos relativamente à geração de energia solar;
5. Cruzamento dos dados horários de consumo e geração, de forma a obter os balanços energéticos anuais.

4.4. Resultados e discussão

A esta etapa corresponde a apresentação dos resultados nos vários casos de estudo. Apresentou-se a repartição da utilização de energia anual e mensalmente. Demonstraram-se balanços energéticos em base anual, mensal e diária. De forma a avaliar os balanços monetários, avaliaram-se dois cenários:

1. Unidade de pequena produção – UPP: toda a energia produzida localmente pelos sistemas instalados no edifício será exportada para a rede a um custo de 9.5 c€/kWh e assim toda a energia utilizada será importada da rede elétrica, ao custo de 16.4 c€/kWh;
2. Unidade de produção em autoconsumo – UPAC, com ligação à rede elétrica: o excesso de energia produzida será exportado para a rede a um custo de 4.5 c€/kWh e em caso de défice de produção, será importada ao custo de 16.4 c€/kWh.

Ambos os cenários avaliados derivam do decreto-lei nº 153 de 2014. Assim, realizaram-se os casos de estudo com base em adaptações simplificadas dos conceitos de UPP e UPAC, para os quais são

considerados apenas os custos e receitas associados efetivamente à exportação e importação de energia elétrica, assim como não se respeitam limites de potência impostos no mesmo decreto-lei e portarias associadas. Para o custo de compra de energia elétrica considerou-se o custo médio anual do kWh da energia com base em dados das faturas da EDA. Para as receitas em regime UPP considerou-se a tarifa de referência, estipulada no artigo 2º da portaria nº 15 de 2015, a qual se mantém em vigor com a portaria nº 32 de 2018. Em regime de UPAC considerou-se, além do custo de compra evitado, uma tarifa de venda de excedente.

4.5. Conclusões

Nesta última etapa refletiu-se sobre os balanços obtidos para cada caso de estudo. Estes resultados permitiram verificar a capacidade de autonomia energética de cada edifício: se de facto, a área disponível para integração de geração solar fotovoltaica é suficiente para mitigar as necessidades energéticas; como se altera a avaliação da capacidade de autonomia quando a sua análise é efetuada através de abordagens distintas; de que forma a arquitetura, a localização e a tipologia de consumo dos edifícios influencia a sua autonomia energética.

Capítulo 5 – Casos de estudo

No presente capítulo encontram-se expostos os três casos de estudo realizados. Em primeiro lugar, a biblioteca e arquivo regional na ilha Terceira, na Região Autónoma dos Açores (RAA), já edificada e em operação. Uma adega vitivinícola com turismo rural na ilha do Pico, na RAA, ainda em fase de projeto. E finalmente, o edifício complementar sudoeste do Terminal de Cruzeiros de Lisboa, com o certificado energético final por realizar, à data desta investigação.

5.1. Biblioteca Pública e Arquivo Regional Luís da Silva Ribeiro

O edifício da biblioteca e arquivo, alvo de certificação energética, é um grande edifício de serviços, localizado em Angra do Heroísmo, na Ilha Terceira do Arquipélago dos Açores. Situa-se no antigo tecido urbano da cidade, num terreno anexo ao Palacete Silveira e Paulo. É constituído essencialmente por dois corpos: o primeiro em U fechado, com uma grande praça aberta e o segundo constituindo o espaço central da biblioteca, delimitando o jardim do Palacete. A sua construção foi efetivamente concluída em 2016, com a arquitetura de Inês Lobo - arquitetos.

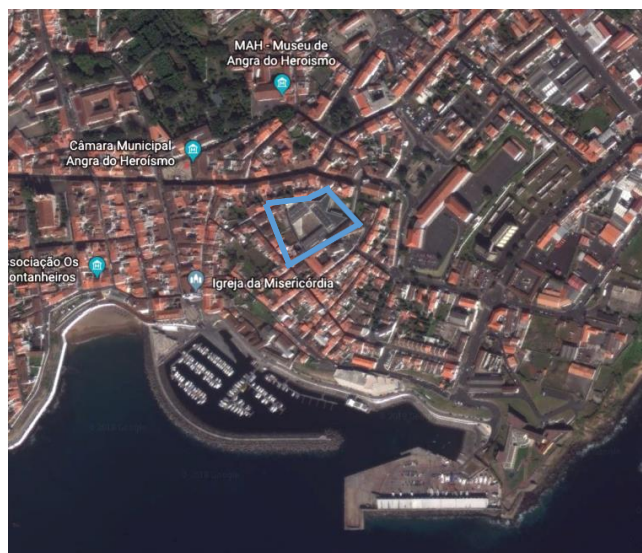


Figura 5.1 - Localização do edifício, vista aérea (Norte para cima).
Fonte: Google Maps.



Figura 5.2 – Entrada da biblioteca com o Palacete Silveira e Paulo no fundo (Rua do Morrão). Fonte: Natural Works.



Figura 5.3 - Localização do edifício, vista aérea (Norte para cima). Fonte: Google Maps.

Este edifício tem aproximadamente 7000 m² de área interior total, dos quais cerca de um terço corresponde a espaços de arquivo. A biblioteca é caracterizada pela presença de vãos envidraçados de grandes dimensões ao longo das suas fachadas e de claraboias na cobertura, privilegiando a iluminação natural, essencial para um edifício desta natureza. Tendo em consideração a reduzida densidade ocupacional, o elevado volume dos espaços e da configuração dos vãos, é possível tirar partido do clima ameno típico de Angra do Heroísmo para alcançar uma redução significativa do recurso ao sistema de climatização. O edifício dispõe de um sistema de produção térmica centralizada por *chillers* / bombas de calor, que fornecem água aquecida e arrefecida às unidades de tratamento de ar (UTA) e às unidades ventiloconvectoras (VC). Existem ainda sistemas de expansão direta (SPLIT) dedicados a espaços específicos. A biblioteca conta ainda com um sistema solar fotovoltaico na cobertura do corpo central.

5.1.1. Análise climática

O edifício, localizado no grupo central do Arquipélago dos Açores, encontra-se a uma distância inferior a 5 km da costa Sul da Ilha Terceira (aproximadamente 300 m), a cerca de 40 metros de altitude. Enquadra-se na zona climática da NUTS 3: R. A. Açores. Assim, insere-se no clima quente e temperado que se faz sentir em Angra do Heroísmo, com uma temperatura média anual de 17°C.

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica
versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município

Angra do Heroísmo

Zona climática

NUTS 3: R.A. Açores
Latitude: 37.8 °N (nominal)
Longitude: 27.8 °W (nominal)
Altitude: 10 m (referência)

Local específico

Município: Angra do Heroísmo
Altitude: 42 m

Dados climáticos

	Referência	Neste local
Estação de aquecimento		
Período:	2.9	3.0 meses
T média:	14.4	14.2 °C
Graus-dia:	604	652 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	21.3	21.1 °C

Zonas de verão e inverno

V 2	I 1
-----	-----

preparar ficheiro
EPW (formato EnergyPlus Weath)

LNEG Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 5.4 - Zona climática do edifício da biblioteca. Fonte: LNEG.

5.1.2. Caracterização do edifício

A estrutura do edifício é concretizada na sua maioria em betão, incluindo paredes e muros perimetrais, com recurso lajes monolíticas, aligeiradas colaborantes e fungiformes. Existe ainda no corpo central do edifício uma zona de estrutura metálica. As paredes são essencialmente compostas por blocos de betão (leve) de escória vulcânica, de origem local. Esta solução apresenta uma menor capacidade de reter calor (inércia térmica) que o betão tradicional, contudo possui também uma maior capacidade de isolamento térmico.

A delimitação exterior do edifício é essencialmente constituída por paredes duplas com isolamento térmico na caixa de ar, existindo também troços de parede simples. Nas zonas de arquivo e laboratórios estas paredes são, na sua maioria, enterradas. As coberturas do edifício são isoladas termicamente pelo exterior, sendo possível aceder à sua inércia térmica. Os pavimentos em contacto com o solo não se encontram isolados, permitindo a transferência de calor para o solo.

A biblioteca é caracterizada por espaços contínuos e abertos no piso térreo e no piso superior do corpo central. A compartimentação vertical do edifício é realizada em paredes estruturais de betão e em paredes de blocos de alvenaria de escória vulcânica, existindo divisórias efetuadas em paredes leves e envidraçadas, em zonas de gabinetes, por exemplo. A compartimentação horizontal é complementada com absorção acústica em determinados espaços, mais exigentes na componente acústica. Nas zonas de arquivo e laboratórios a compartimentação vertical é constituída por paredes estruturais de betão e blocos de alvenaria de escória vulcânica.



Figura 5.5 - Corpo central, piso 1. Fonte: Natural Works.

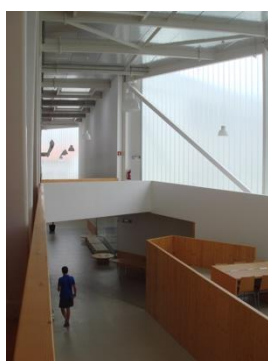


Figura 5.6 - Corpo central, vista sobre piso 0. Fonte: Natural Works.



Figura 5.7 - Corpo lateral, piso 1. Fonte: Natural Works.



Figura 5.8 - Depósitos, piso -1. Fonte: Natural Works.

A envolvente do edifício apresenta vãos envidraçados de grandes dimensões. Estes são compostos essencialmente por dois tipos: vãos fixos em vidro perfilado com montagem em vidro duplo do tipo *U-Glass*, despolido, complementado em determinados troços com sombreamento interior; e vãos fixos ou de correr, sem corte térmico, com vidro simples laminado e temperado, complementado na sua maioria com sombreamento interior existindo ainda um troço de sombreamento exterior, no corpo central, e palas horizontais nos pisos superiores dos corpos laterais. Adicionalmente, existem claraboias opalinas nas coberturas dos corpos central e laterais. Estas soluções alternam entre policarbonato alveolar de 4 camadas e cúpula dupla de polimetacrilato de metilo. Na cobertura do corpo central, sensivelmente metade das claraboias são de abertura elétrica, possibilitando ventilação natural e ainda uma maior iluminação dos espaços.



Figura 5.9 - Vista para corpo lateral. Fonte: Natural Works.



Figura 5.10 - Vista sobre corpo central e lateral. Fonte: Natural Works.



Figura 5.11 - Corpo central, piso 1. Fonte: Natural Works.



Figura 5.12 - Claraboias e sistema PV na cobertura do corpo central. Fonte: Natural Works.

Uma biblioteca é um espaço que requer níveis de iluminância elevados para o tipo de atividades realizadas. Assim, a potência de iluminação instalada será tendencialmente elevada. No entanto, a arquitetura deste edifício procura favorecer a iluminação natural, evitando a utilização contínua do sistema de iluminação artificial instalado.

A potência da iluminação instalada é composta essencialmente pela combinação de balastros eletrónicos com lâmpadas fluorescentes e no geral é inferior ao limite da legislação, salvo casos pontuais. Nos grandes espaços existem ainda sensores de luminosidade, sendo assim possível desligar a iluminação artificial nos períodos em que a iluminação natural é suficiente. Nas instalações sanitárias encontram-se instalados sensores de ocupação.

O edifício dispõe de climatização centralizada, onde a água é aquecida ou arrefecida por dois *chillers* e é distribuída para a rede hidráulica. Com recurso a dois depósitos de inércia (água quente e fria) e a bombas de circulação com ajuste de caudal, é possível otimizar a operação das bombas de calor. Na zona dos arquivos / salas de trabalho, existem ainda alguns espaços com sistemas de expansão direta para um tratamento mais adequado dos espaços.

Nos pisos 0 e 1, nos espaços com ocupação, o ar tratado via UTAs ou UTANs é entregue com recurso a condutas de tecido perfurado, ventiloconvectores incorporados nos tetos ou na mobília, ou de pavimento. As UTAs permitem a regulação de caudal, via gestão técnica centralizada, e a variação do caudal em função dos níveis de concentração de CO₂. A extração não associada às UTAs é efetuada via ventiladores de extração nas instalações sanitárias.

Como referido anteriormente, nos pisos 0 e 1, existe a possibilidade de recurso a ventilação natural / híbrida através da abertura de vãos de correr, vãos opacos de batente e ainda as claraboias de abertura eletrónica. Combinando estes fatores, a capacidade do sistema, a reduzida densidade ocupacional (efetiva), e os espaços de grande volume otimizou-se a operação do sistema de ventilação. Desta forma, obtêm-se grandes poupanças energéticas, mantendo uma temperatura confortável e boa qualidade do ar interior.

Nos depósitos e arquivos, localizados na sua maioria no piso -1, o tratamento é efetuado através da insuflação de ar 100% novo ao nível do pavimento, de forma independente entre depósitos, de forma a evitar a propagação de contaminantes. A extração é efetuada por ventiladores associados às próprias UTANs. O depósito Vitorino Nemésio é tratado de forma distinta, através de uma Unidade *Close Control* com uma combinação de ar novo e recirculação. As salas de trabalho são insufladas através de uma UTA compacta e a extração é efetuada através de ventiladores de caixa. Duas destas salas são tratadas através de Unidades *Close Control*.

As cargas elétricas dos restantes equipamentos, como por exemplo computadores, impressoras e outros aparelhos de apoio, foram estimadas considerando as densidades de potência indicadas pelo regulamento e apropriadas para os espaços, em função da tipologia.

O aquecimento de águas sanitárias é efetuado apenas em duas copas, com recurso a dois termoacumuladores.

O edifício dispõe ainda de uma instalação para geração de energia solar fotovoltaica, composta por 300 módulos de 185 W cada, com orientação a Sul (-17°) e inclinação 30°, na cobertura do corpo central. Este sistema, com uma capacidade total de 55.5 kW, cobre cerca de 20% das necessidades anuais de energia elétrica do edifício.

5.1.3. Estudo proposto

Atualmente, tal como referido no subcapítulo anterior, o edifício da biblioteca dispõe de um sistema solar fotovoltaico na cobertura do corpo central, capaz de satisfazer cerca de 20% da utilização de

energia elétrica. Desta forma, propôs-se analisar possibilidade de incrementar a potência instalada, aproveitando a área de cobertura e fachada para o efeito com a finalidade de alcançar a autonomia energética, em balanço anual.

De facto, a biblioteca detém uma grande área de envolvente opaca. No entanto, grande parte não é viável por não ter a orientação necessária e devido a sombreamento causado por outros edifícios nas proximidades. Assim, têm-se disponíveis cerca de 2000 m² nas coberturas do corpo central e dos laterais. Não existindo nenhuma componente de fachada opaca considerada viável para instalação de coletores na vertical, optou-se pela envolvente envidraçada do corpo central orientada a Sul. A faixa superior encontra-se desobstruída dos restantes corpos e é assim, viável para instalação de filmes finos, em cerca de 185 m².

Determinou-se então analisar a substituição do sistema existente no corpo central por um sistema de potência e eficiência elevadas: Sunpower SPR-345W-X21. Desta forma, obtém-se uma capacidade instalada adicional de 36 kW utilizando menos 35 painéis solares e mantendo a orientação e inclinação do sistema existente. Da mesma forma, considerou-se este sistema para coberturas dos corpos Este e Oeste, proporcionando um incremento na potência de pico em 65 kW. A configuração encontra-se apresentada na figura 5.13. O sistema de filmes finos, sendo menos convencional, optou-se por efetuar a análise adaptada de uma instalação de 100 W/m², baseado em um modelo de vidro da Solarwatt AG, distribuída ao longo da fachada envidraçada em U-glass do corpo central como indicado na imagem 5.14. Este tem uma capacidade instalada de 18 kW. Na tabela 1 apresentam-se, em maior detalhe, as características dos sistemas selecionados.

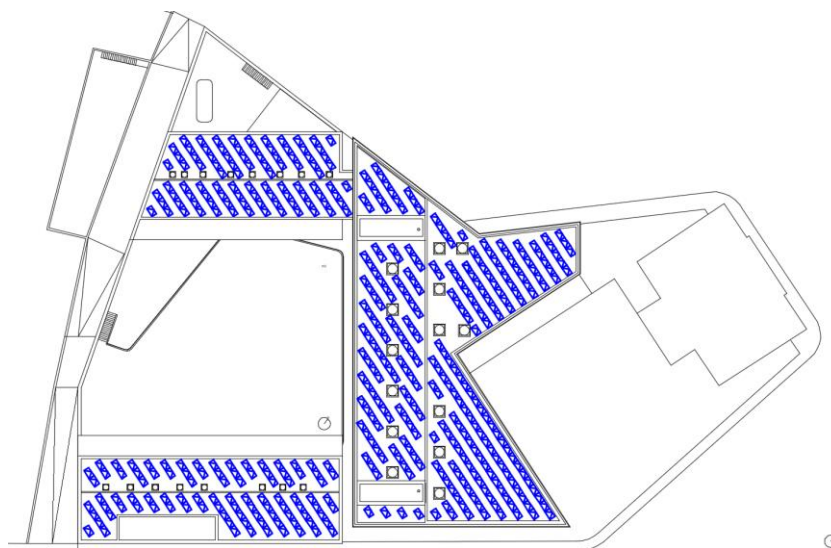


Figura 5.13 - Parque solar na cobertura, a azul. Norte para o canto superior direito da figura. Adaptado de: iLobo – arquitetos.

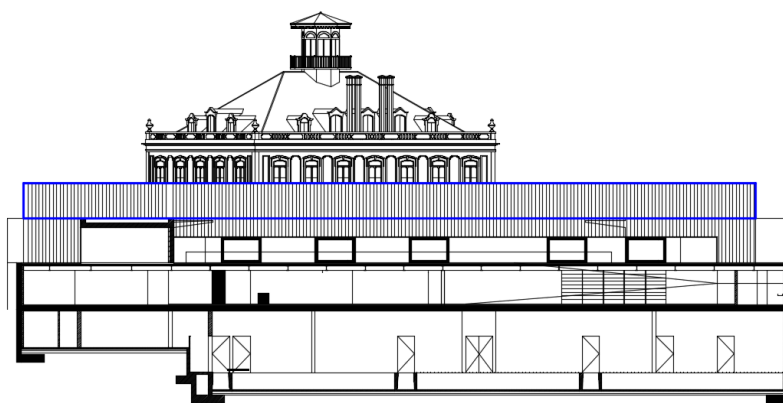


Figura 5.14 - Sistema fotovoltaico na fachada do corpo central, delimitado a azul.
Adaptado de: iLobo – arquitetos.

Na figura 5.15 encontra-se apresentado o modelo geométrico do edifício da biblioteca, com os objetos na cobertura e na fachada correspondentes aos painéis solares. Observam-se as fileiras nas coberturas e a faixa na fachada. Embora sejam simulados com as características indicadas, os filmes finos não apresentam transparência na geometria em ambiente SketchUp.

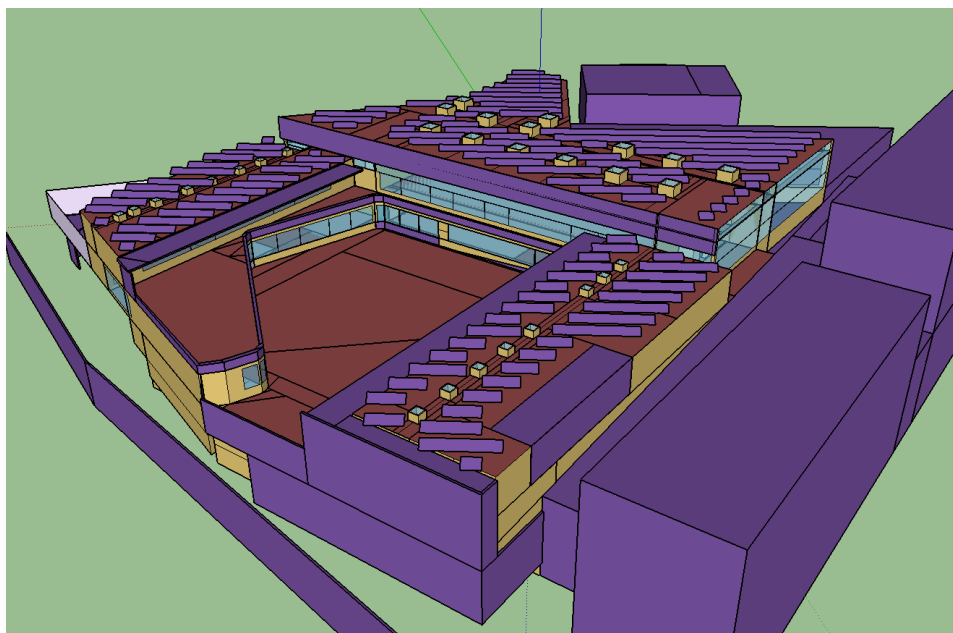


Figura 5.15 - Modelo geométrico do edifício com o parque solar (Sketchup, Euclid)

Tabela 5.1 - Características do parque solar da biblioteca.

	C. Central	C. Oeste	C. Este	Env. C. Central
Orientação (°)		-17		52
Inclinação (°)		30		90
Área painel (m ²)		1.63		-
Área total (m ²)	432	153	157	184
Nº painéis	265	94	96	-
Potência (Wp)		345		100 W/m ²
Potência total (kWp)	91	32	33	18
Eficiência (%)		21.5		10
Equipamento	SunPower X21-345W		Adaptação Solarwatt AG	

Tem-se assim neste caso de estudo um exemplo de BAPV e um exemplo de BIPV, onde o primeiro privilegia a performance, procurando manter a coerência com a arquitetura existente, e o segundo se integra com a estética do edifício, em detrimento do desempenho ideal. Estes sistemas totalizam 174 kW de capacidade instalada.

5.1.4. Resultados e discussão

A Biblioteca Pública e Arquivo Regional Luís Silva Ribeiro é um edifício de consumo elevado de energia. Ainda que o design deste edifício privilegie a iluminação e ventilação naturais e que beneficie de um clima relativamente ameno, são sempre espectáveis cargas elevadas na iluminação, ventilação e climatização num edifício com características apresentadas. Os dados exibidos são resultados compilados e tratados da simulação dinâmica multizona realizada com a finalidade de obtenção do certificado energético, no qual o edifício da biblioteca obteve a classe **B**.

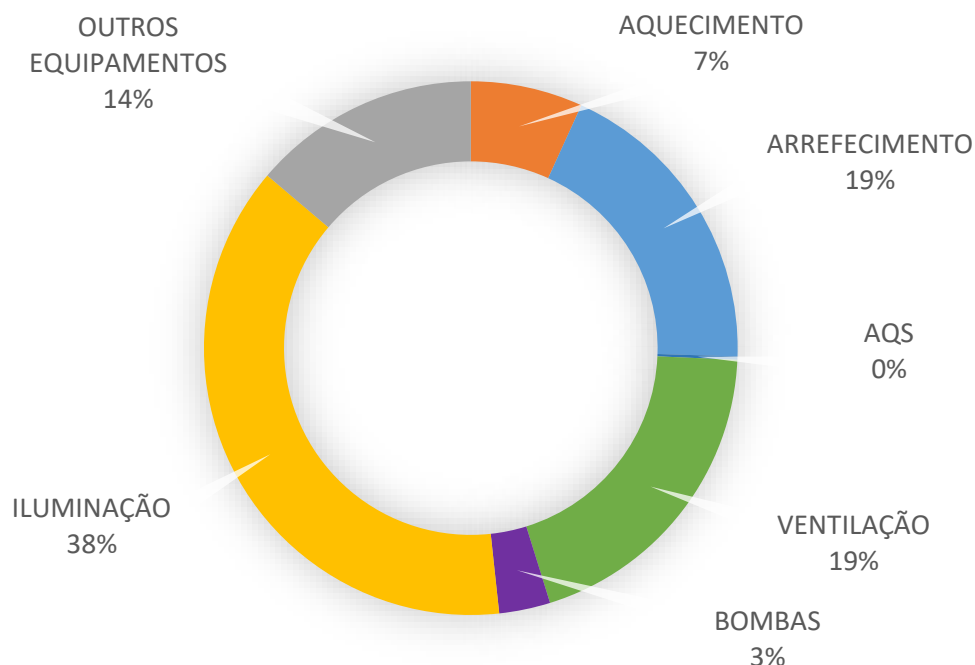


Figura 5.16 - Distribuição da utilização de energia final no edifício. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).

Na figura 5.16, apresenta-se a repartição dos consumos elétricos da biblioteca em base anual. No total são absorvidos cerca de 260 MWh de energia elétrica. Como se pode verificar, a utilização de energia em iluminação afigura-se como o elemento mais significativo. Embora os sistemas de iluminação artificial da biblioteca sejam dotados de balastro eletrónico e lâmpadas fluorescentes de desempenho razoável (face a tecnologias mais recentes, do tipo LED), o requisito de manter níveis de iluminância elevados implica a sua utilização de forma intensiva. Ainda assim, este elemento é mitigado positivamente pelo aproveitamento de luz natural. Seguem-se, o consumo de ventiladores associados a UTAs e climatização e o consumo para arrefecimento associado a UTAs, VCs e outras unidades. Estas fatias do consumo, justificam-se com a necessidade de manter a boa qualidade do ar e temperatura dos espaços ocupados e de proporcionar as condições necessárias à preservação dos documentos em espaços de arquivo. Nestes espaços com documentos sensíveis o tratamento de ar é efetuado em operação permanente, isto é, durante todo o dia e toda a noite.

Os outputs gerados para o sistema solar com a simulação foram também compilados, de forma a caracterizar e analisar o potencial de aproveitamento solar fotovoltaico neste edifício. Como referido anteriormente, consideraram-se dois cenários: o primeiro como unidade de pequena produção e o segundo em regime de autoconsumo.

Na tabela 5.2, encontram-se quantificados e representados os fluxos totais de energia elétrica, em base anual, assim como as despesas e receitas associadas, em regime de pequena produção. Por um lado, tem-se toda a energia elétrica requisitada por todos os sistemas do edifício para a sua operação, por outro tem-se a quantidade de energia elétrica gerada pelo parque solar do edifício.

Tabela 5.2 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime UPP.

	(MWh/ano)	(k€/ano)
Consumo	- 259	- 42
Geração	+ 195	+ 19
Balanço	- 64	- 23

Em primeira análise, verifica-se então que, mesmo esgotando toda a área viável no próprio edifício para acrescentar potência ao sistema solar fotovoltaico, não é possível, em base anual, gerar tanta ou mais energia elétrica da que é pedida pelo edifício, permanecendo um saldo negativo de 64 MWh. Ainda assim, é possível aproximar este edifício da linha dos NZEB. Obteve-se um aumento superior a 300% na energia gerada com um incremento inferior ao triplo da potência instalada, face à instalação existente, com base nos dados do processo de certificação energética.

Em regime de unidade de pequena produção, com custo de compra igual a 16.4 c€/kWh e de venda a 9.5 c€/kWh, obtém-se então um saldo negativo de 23.000 €, colmatando perto de metade da fatura anual.

Tabela 5.3 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime de autoconsumo.

	(MWh/ano)	(k€/ano)
Importação	- 134	- 22
Exportação	+70	+ 3
Consumos evitados	+ 125	+ 21
Balanço Imp/Exp	- 64	- 19
Balanço com consumos evitados	+ 195	+ 2

Analisando o cenário em regime de autoconsumo, com o mesmo custo de compra e com uma tarifa de venda à rede de 4.5 c€/kWh, em caso de excesso de geração, tem-se um panorama diferente. Assim, a energia gerada e efetivamente utilizada no edifício corresponde a cerca de metade de toda a energia consumida, contando ainda com um excedente 70 MWh. O balanço anual combinado de trocas com a rede elétrica e de consumos evitados corresponde a um saldo positivo de 2.000 €.

Desta forma, pode-se afirmar que compensa o regime de autoconsumo, nos termos estipulados, resultando um corte em quase 50% do consumo energético e ainda com uma receita anual de 2000 €.

Ainda assim, existe um desfasamento significativo entre o consumo e a produção do edifício, existindo ainda uma grande necessidade de importar energia da rede não só durante as horas sem geração de energia, como também durante o dia.

O BIPV considerado neste projeto representa cerca de 10% da potência total instalada e corresponde a 6% do total de energia gerada. Embora perca produtividade nas horas de pico solares, a sua inclinação de 90° permite gerar energia de forma mais desfasada do que os painéis instalados na cobertura, nas horas de menor altura solar.

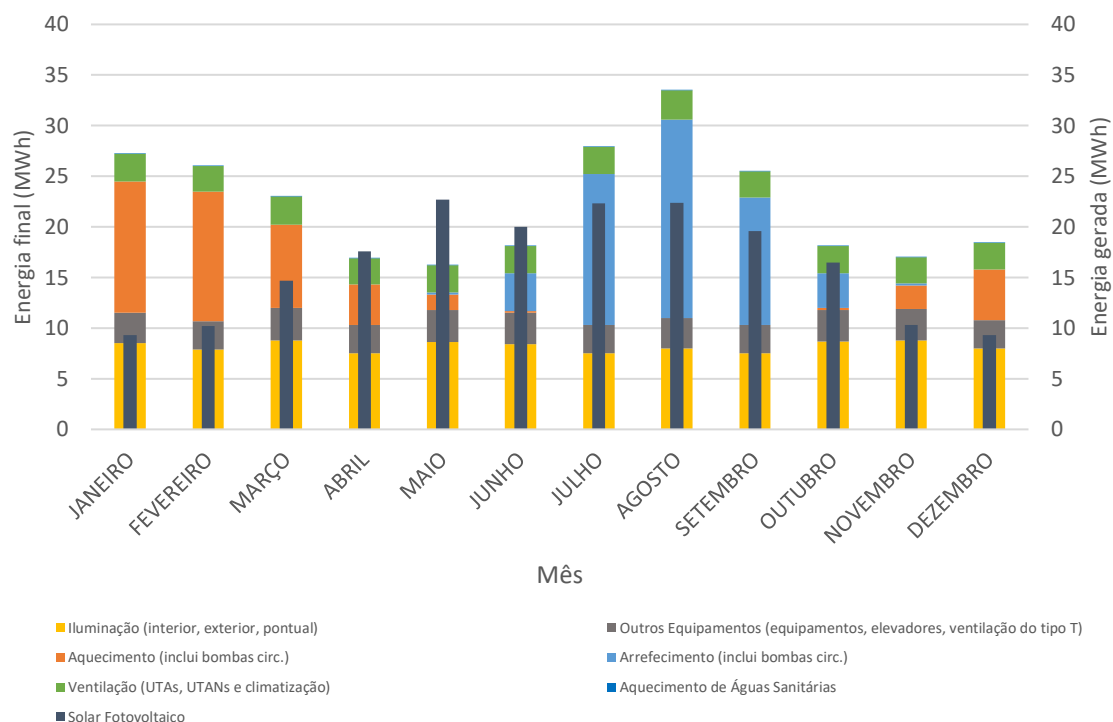


Figura 5.17 - Utilização de energia final por mês. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).

Na figura acima representada é apresenta-se a dinâmica de usos de energia final em base mensal, em paralelo com a geração de energia solar. Como consumos de *baseline*, relativamente constantes ao longo do ano, tem-se a iluminação, os equipamentos, elevadores e toda a ventilação. Estes elementos representam a maior fatia da utilização de energia elétrica no edifício. No entanto, os que efetivamente se destacam ao longo do ano são os consumos variáveis. O aquecimento e o arrefecimento em climatização e tratamento de ar pesam no balanço, quando se pretende alcançar o target NZEB.

A energia total gerada é superior à absorvida em apenas três meses. Período que apresenta já uma disponibilidade solar significativa e cargas de aquecimento e arrefecimento ainda algo reduzidas. De julho a setembro existe já uma diferença acentuada entre a energia gerada e a energia consumida, apresentando um saldo negativo. Nos meses de inverno, com uma disponibilidade solar muito reduzida, esta disparidade é ainda mais evidente.

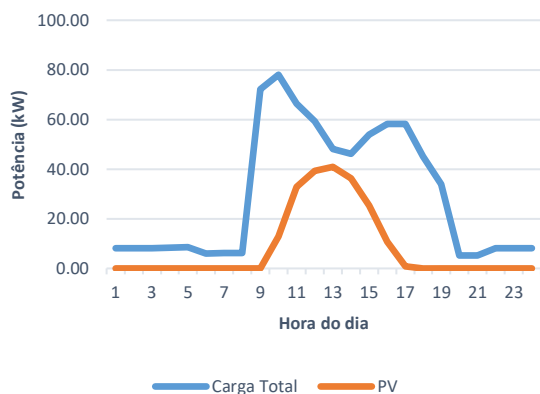


Figura 5.18 - Geração / Carga de consumo no dia 6/1.

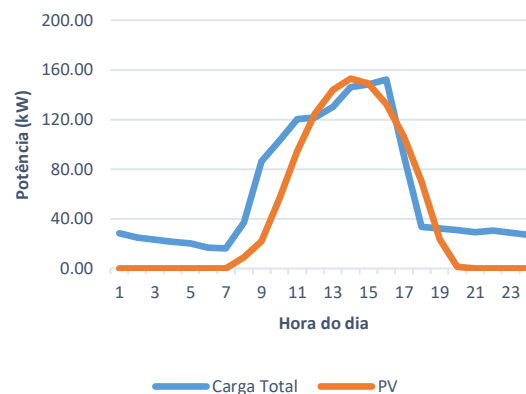


Figura 5.19 - Geração / Carga de consumo no dia 14/8.

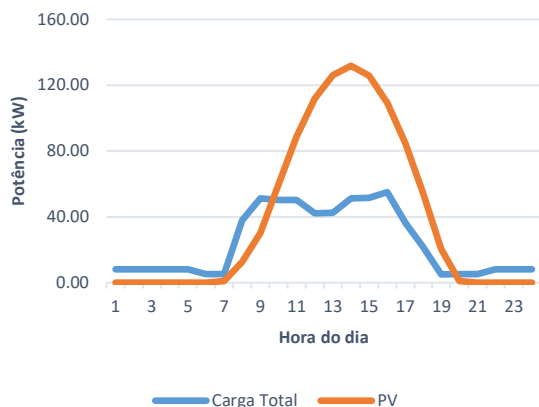


Figura 5.20 - Geração / Carga de consumo no dia 8/5.

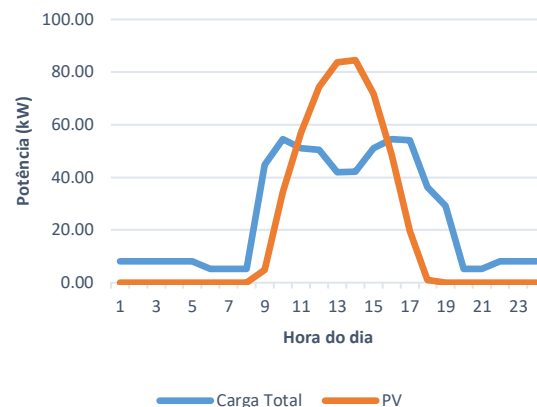


Figura 5.21 - Geração / Carga de consumo no dia 16/11.

Nas figuras acima apresentam-se quatro dias típicos: inverno, verão e meia estação. De facto, o elemento mais significativo nos consumos variáveis é o arrefecimento. Nos dias mais quentes como no dia do mês de agosto apresentado a carga elétrica do edifício atinge cerca de 152 kW. No dia de inverno ou nos restantes este valor não ultrapassa os 80 kW.

Ainda assim, a maior disponibilidade solar é insuficiente para cobrir a totalidade das necessidades energéticas no dia de verão. No dia de inverno, com metade da carga máxima do dia de verão, a geração solar mostra-se incapaz de sustentar a procura energética. Em dias mais amenos como no exemplo da figura 5.20, combinando a elevada disponibilidade solar, apresenta-se um balanço positivo nas trocas energéticas com a rede.

De qualquer forma, os consumos *baseline* com ocorrência prolongada (UTAs, ventiladores, iluminação, equipamentos) e em horas de não disponibilidade solar (noite), pesam no balanço anual do edifício.

5.2. Adega vitivinícola e turismo da Azores Wine Company

Este projeto, de um pequeno edifício de comércio e serviços, alvo de emissão de um pré-certificado energético, para fase de licenciamento, tem como objetivo a função de albergar uma adega vitivinícola, um espaço dedicado a turismo e ainda uma zona de restauração. O local de implantação será no Cais do Mourato, Ilha do Pico na R. A. Açores. O edifício em projeto divide-se essencialmente em duas zonas distintas: a de serviços, constituída pelas áreas de receção, prova e venda de vinhos, assim como unidades de alojamento para turismo; e a de produção de vinho. Esta última, constituída por espaços industriais, não está abrangida pela legislação de Desempenho Energético constante do DL 118/2013 de 20 de agosto e assim, as suas cargas elétricas não foram contempladas nesta análise.

A forma do edifício, em planta, assemelha-se a um quadrado, com um espaço aberto no meio, denominado claustro. O alçado principal, onde se encontram os vãos envidraçados dos alojamentos turísticos e da sala de provas é orientado a Norte, privilegiando a vista para o mar. O projeto de arquitetura é da autoria de SAMI – arquitetos. As figuras abaixo indicam a localização do projeto e os alçados.

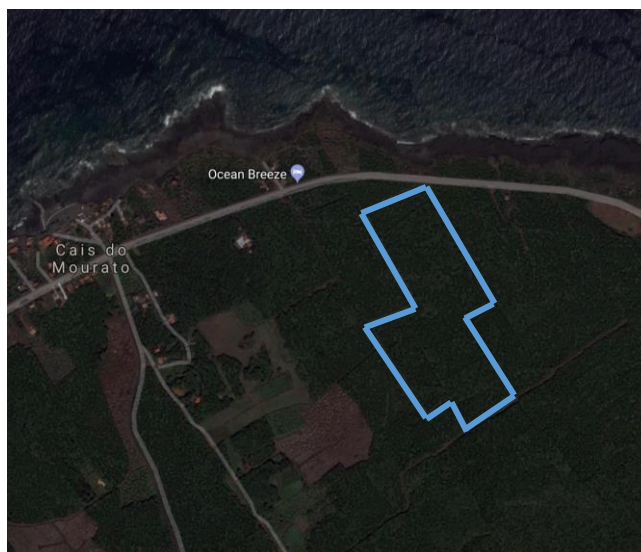


Figura 5.22 - Localização do terreno, vista aérea (Norte para cima). Fonte: Google Maps.

A área total do edifício em análise corresponde a cerca de 1300 m², dos quais aproximadamente cerca de metade são afetos à fração de serviços e os restantes são dedicados às zonas de produção de vinho, fora do âmbito deste estudo. O edifício é caracterizado pelos acabamentos exteriores em pedra de basalto, com grandes vãos envidraçados nas fachadas orientadas a Noroeste, Nordeste e Sudoeste. Os espaços de alojamento, receção e sala de provas são servidos por um sistema de pavimento radiante alimentado via bombas de calor. A ventilação é efetuada via extração nas instalações sanitárias, na generalidade dos espaços. No caso da sala de provas, esta é efetuada, adicionalmente, via insuflação e extração na própria divisão. Existem também unidades do tipo expansão direta dedicadas a espaços específicos.



Figura 5.23 - Localização do edifício, vista aérea (Norte para cima). Fonte: Google Maps.

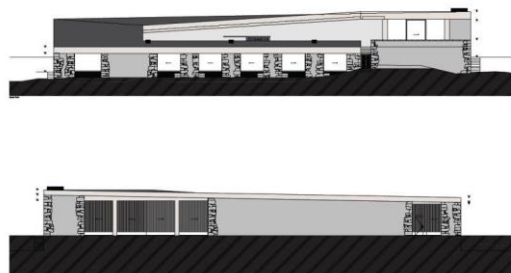


Figura 5.24 - Alçados Noroeste e Sudeste. Fonte: SAMI, Arquitetos.

5.2.1. Análise climática

O local de implantação da adega, situa-se a 500 m da costa Norte da Ilha do Pico, da R. A. Açores, a cerca de 40 metros de altitude. Este enquadra-se na mesma zona climática do caso de estudo anteriormente descrito: NUTS 3: R. A. Açores. O clima é assim, semelhante ao verificado em Angra do Heroísmo, com uma temperatura média de 17.5°C.

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica
versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município
Madalena

Zona climática
NUTS 3: R.A. Açores
Latitude: 37.8 °N (nominal)
Longitude: 27.8 °W (nominal)
Altitude: 10 m (referência)

Local específico
Município: Madalena
Altitude: 40 m

Dados climáticos

	Referência	Neste local
Estação de aquecimento		
Período:	2.9	3.0 meses
T média:	14.4	14.2 °C
Graus-dia:	604	649 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	21.3	21.1 °C

Zonas de verão e inverno
V 2 I 1

preparar ficheiro
EPW (formato EnergyPlus Weath-)

LNEG Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 5.25 - Zona climática (LNEG).

5.2.2. Caracterização do edifício

A estrutura do edifício é realizada em betão, complementada com blocos de betão (leve) de escória vulcânica, de origem local. As fachadas voltadas para o exterior da estrutura, dispõem de acabamento em pedra de basalto.

A delimitação exterior do edifício é essencialmente constituída por paredes isoladas termicamente pelo exterior. As coberturas do edifício dividem-se fundamentalmente em dois tipos: isoladas termicamente pelo exterior, sendo possível aceder à sua inércia térmica, e isoladas pelo interior, em teto falso ou com reboco térmico projetado. Os espaços das zonas de serviços dispõem e isolamento térmico no pavimento.

Como referido anteriormente, este edifício divide-se essencialmente em duas zonas: de serviços e industrial. A zona de serviços é composta por espaços de configurações distintas: os estúdios com a fachada principal orientada a Noroeste; a receção com fachadas principais expostas a Noroeste e Nordeste; e a sala de provas de grande volume com cozinha, com exposição a Sudoeste, Noroeste e Nordeste. A zona industrial, não se encontra no âmbito da certificação energética, e é composta por espaços de grande área e pé direito elevado: salas de barricas, salas de cubas, zona de armazenamento, cargas e descargas.

A compartimentação vertical do edifício é realizada em paredes estruturais de betão e em paredes de blocos de alvenaria de escória vulcânica, existindo divisórias efetuadas em paredes simples, paredes simples com isolamento e paredes duplas com isolamento na caixa de ar. A compartimentação horizontal é complementada com isolamento térmico nas zonas com instalação de pavimento radiante.

A envolvente do edifício apresenta vãos envidraçados de grandes dimensões na zona de serviços. Estes são compostos por caixilharia de madeira maciça, com vidro duplo. Na sala de provas e nas orientações poente e nascente, os vidros têm ainda uma camada de baixa emissividade. Nas coberturas das instalações sanitárias dos estúdios encontram-se ainda claraboias com caixilharia em PVC e vidro duplo com uma camada exterior adicional de policarbonato. Os vãos verticais são complementados com sombreamento pelo interior em rolo blackout nos estúdios, apartamentos e escritório.

A potência da iluminação instalada é composta essencialmente pela combinação de balastros eletrónicos com lâmpadas fluorescentes e por LEDs e no geral é inferior ao limite da legislação, salvo casos pontuais. Nas instalações sanitárias públicas encontram-se instalados sensores de ocupação.

O edifício dispõe de climatização via pavimento radiante, com recurso a bombas de calor, na zona de serviços. No espaço de restauração a climatização é ainda reforçada com ventiloconvectores. Existem ainda unidades de expansão direta dedicadas a espaços específicos como a cozinha da sala de provas e o escritório da adega.

A ventilação é essencialmente realizada via ventiladores de extração nas instalações sanitárias, complementados com dispositivos de admissão de ar nas fachadas. Na sala de provas, no espaço da cozinha, a ventilação é reforçada através de uma *hotte* compensada de caudal de ar elevado.

As cargas elétricas dos restantes equipamentos foram estimadas considerando as densidades de potência indicadas pelo regulamento e apropriadas para os espaços, em função da tipologia.

Ainda associado aos consumos de equipamentos, considerou-se um fogão elétrico de potência elevada (ao invés de gás propano, como consta no projeto) na sala de provas, com operação aos fins de semana.



Figura 5.26 - Ilustração da zona central do edifício (Sudeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.



Figura 5.27 - Ilustração da zona central do edifício (Noroeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.



Figura 5.28 - Ilustração da zona central do edifício, junto à sala de provas (Sudeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.



Figura 5.29 - Ilustração da zona central do edifício, junto à entrada dos estúdios (Nordeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.



Figura 5.30 - Ilustração da zona exterior do edifício (Sudeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.



Figura 5.31 - Ilustração da zona exterior do edifício, junto aos vãos dos estúdios (Sudeste para a frente). Fonte: SAMI, Arquitetos.

As águas sanitárias são aquecidas por um sistema composto por duas bombas de calor, com um depósito de 2000L.

No pré-certificado energético é proposta como medida de melhoria, a implementação de um sistema solar fotovoltaico, composto por 45 módulos de 335W cada, com orientação Sul e inclinação de 5°, tendo o gerador a diesel como apoio. Embora a inclinação considerada não privilegie a performance, é indicada para a integração com o património paisagístico.

5.2.3. Estudo proposto

Atualmente, o projeto da adega não contempla um sistema de geração de energia solar fotovoltaica. Apenas foi considerado como medida de melhoria no pré-certificado energético. Neste caso, propôs-se

então estudar a instalação de potência solar fotovoltaica, nas fachadas e coberturas disponíveis para o efeito, de forma a alcançar a autonomia energética, em balanço anual, tendo sempre em atenção a necessidade de preservar o património paisagístico e a própria estética do edifício.

Este projeto apresenta uma arquitetura relativamente simples do ponto de vista técnico, para a instalação de painéis solares na cobertura e na fachada. Ainda assim, apenas faz sentido efetuar a instalação nas fachadas com incidência solar significativa: Sudeste e Sudoeste. O edifício da adega apresenta-se isolado de outras edificações. Assim, não existem obstáculos que poderão provocar sombreamento nos painéis solares.

Na cobertura optou-se por analisar a instalação quase complanar com a cobertura, com inclinação de 10° de forma a manter um bom controlo de temperatura do painel e melhorar a performance, mantendo uma estética discreta.

Para ambas as aplicações, de forma a preservar a componente estética e paisagística do projeto, optou-se pelo teste com um modelo semelhante ao do caso de estudo anterior, mas com a superfície de coloração preta e com potência marginalmente inferior: SunPower X21-335W-BLK. Com uma instalação total de 410 painéis, tem-se assim 118 kW na cobertura e 28 kW nas fachadas. Na tabela 5.4 apresentam-se as características destes sistemas. Nas figuras abaixo encontra-se a configuração do parque solar na cobertura e na fachada. Em partes da cobertura verifica-se um espaçamento distinto entre painéis. Este deve-se à ligeira inclinação da cobertura e necessidade de evitar qualquer sombreamento pelos próprios painéis e pela própria cobertura.

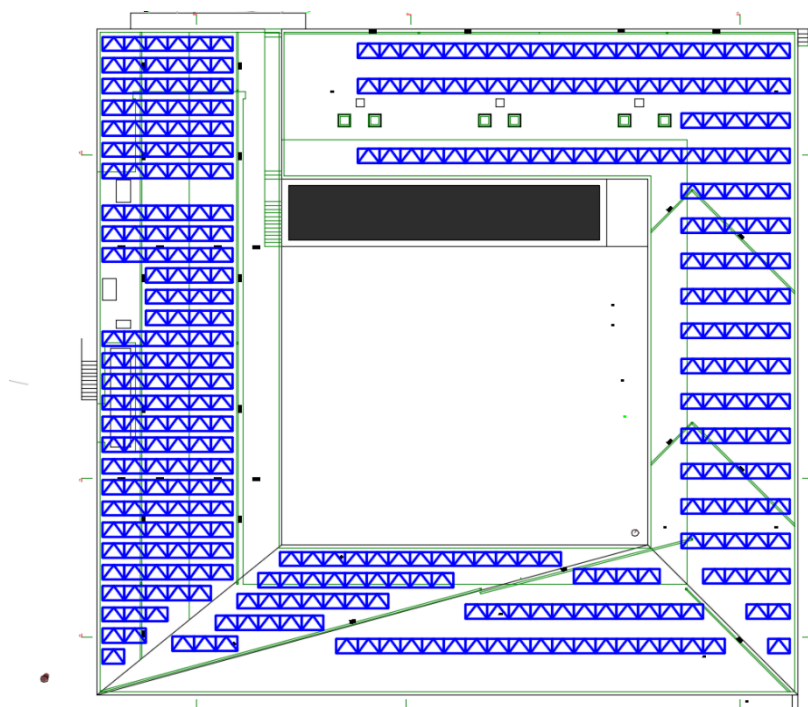


Figura 5.32 - Parque solar na cobertura, a azul. Norte para o canto superior direito da figura. Adaptado de: SAMI, Arquitetos.

Na figura 5.34 encontra-se apresentado o modelo geométrico do edifício da adega, com os objetos na cobertura e na fachada correspondentes aos painéis solares. É possível observar as fileiras na cobertura e nas fachadas.

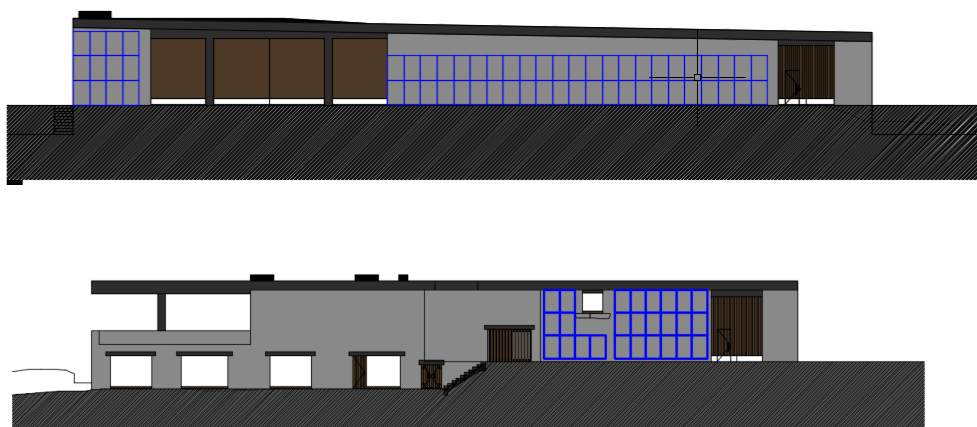


Figura 5.33 - Parque solar nas fachadas do edifício, a azul. Adaptado de: SAMI, Arquitetos.

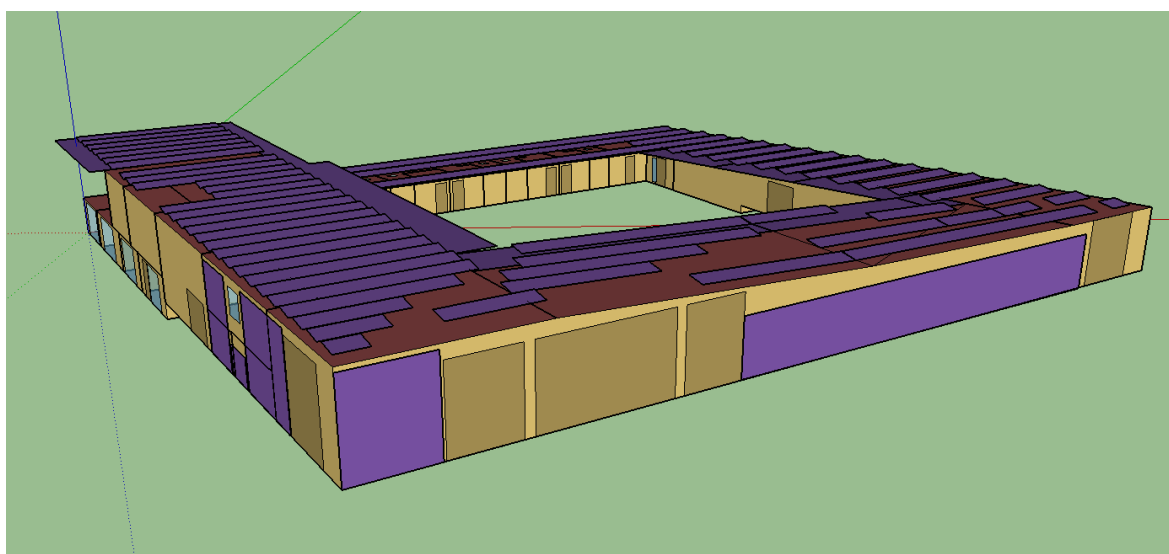


Figura 5.34 - Modelo geométrico do edifício com o parque solar, em ambiente Sketchup (Euclid).

Tabela 5.4 - Características do parque solar do edifício da adega.

	Cobertura	F. Sul Nascente	F. Sul Poente
Orientação (°)	-30	-30	60
Inclinação (°)	10	90	
Área painel (m ²)		1.63	
Área (m ²)	574	95	42
Nº painéis	352	58	26
Potência (Wp)		335	
Potência instalada (kWp)	118	19	9
Eficiência (%)		21	
Equipamento	SunPower X21-335-BLK		

Tem-se assim também, neste caso de estudo, exemplos de BAPV e BIPV, cuja integração com a arquitetura e paisagem se apresenta como um fator de destaque. A combinação da potência de pico instalada dos sistemas totaliza 146 kW. Dispondo de uma potência de pico instalada não muito distante do caso de estudo anterior, num edifício de consumo elétrico tendencialmente inferior, este é um exemplo interessante para as aplicações NZEB.

5.2.4. Resultados e discussão

A Adega vitivinícola e turismo rural da Azores Wine Company apresenta consumos energéticos muito distintos entre espaços. Nas zonas associadas a serviços (restauração, turismo) a procura energética varia significativamente em função das diferentes ocupações dos espaços. Dispondo de uma boa qualidade térmica da envolvente, será expectável uma carga menos relevante de climatização em aquecimento e arrefecimento. Sendo uma significativa parte dos espaços ocupados em regime de turismo, seriam de esperar também, por um lado, menores cargas de iluminação, face à pontualidade da ocupação, e por outro lado, maiores cargas de aquecimento de águas sanitárias. Os ventiladores de extração em operação permanente são um fator de peso para a fatia dos consumos dos outros equipamentos. O edifício da adega, abrangido pelo RECS, obteve uma classe energética **B-** no pré-certificado energético.

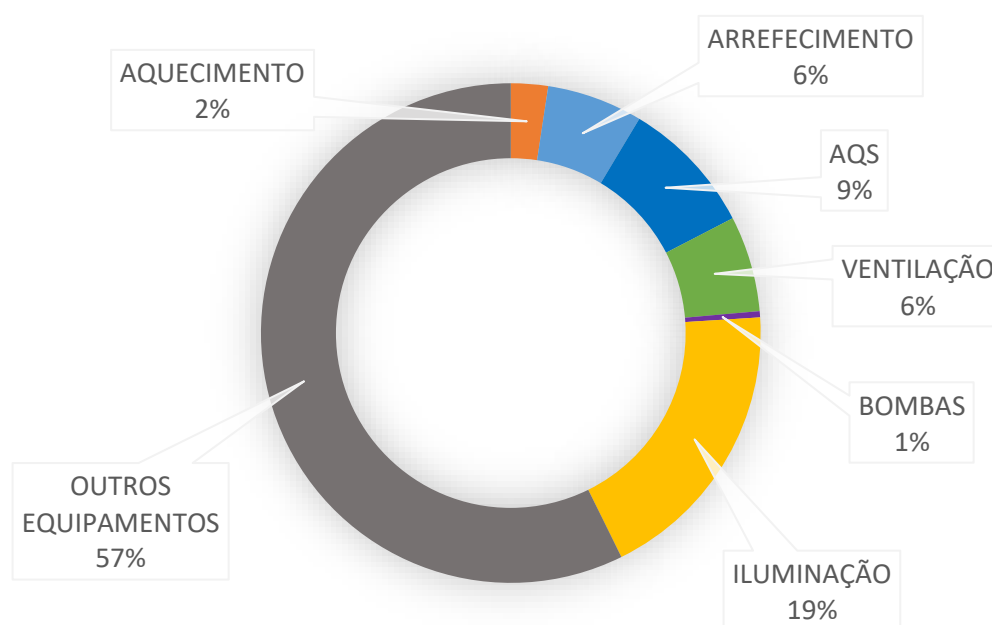


Figura 5.35 - Distribuição da utilização de energia final no edifício. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).

Na figura acima encontram-se identificados os consumos elétricos anuais do edifício da adega. No total são utilizados 71 MWh. Uma vez que a ventilação é efetuada essencialmente via aparelhos em operação permanente, a maior fatia é a correspondente aos outros equipamentos. O fogão da sala de provas representa cerca de 25% da fatia total dos equipamentos. A iluminação afigura-se uma vez mais como um elemento relevante e cuja utilização tende a ser desfasada das horas de disponibilidade solar, nos espaços de turismo.

Num edifício com esta atividade, é expectável também a utilização frequente de águas quentes sanitárias. A climatização apresenta um peso menos significativo, uma vez que a adega dispõe de uma boa envolvente térmica e de sistemas de elevada eficiência, tirando ainda proveito do clima ameno que se verifica.

Nas tabelas 5.5 e 5.6 apresentam-se os fluxos energéticos e monetários para os dois cenários: UPP e UPAC, respetivamente.

Tabela 5.5 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime UPP.

	(MWh/ano)	(k€/ano)
Consumo	- 71	- 12
Geração	+ 145	+ 14
Balanço	+ 74	+ 2

Considerando o regime de UPP, exportando a totalidade da energia produzida pelo parque solar, obtém-se um balanço anual líquido positivo. A energia gerada anualmente é cerca de 2 vezes superior à energia

requisitada pela operação do edifício. Com este esquema alcançam-se receitas anuais de aproximadamente 2.000 €. Nestes parâmetros situa-se acima da linha NZEB, com excedente.

Tabela 5.6 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime de autoconsumo.

	(MWh/ano)	(k€/ano)
Importação	- 34	- 6
Exportação	+ 106	+ 5
Consumos evitados	+ 39	+ 6
Balanço Imp/Exp	+ 72	- 1
Balanço com consumos evitados	+ 111	+ 5

Em autoconsumo, o saldo entre importação e consumos evitados é negativo em 1.000€, ao qual se acresce o valor das exportações para a rede elétrica, culminando num balanço anual positivo. Tem-se assim, um saldo energético excedentário, com receitas combinadas de exportação e consumos evitados na ordem dos 5.000 €.

Ainda assim, existe um desfasamento considerável entre a geração de energia e o consumo no próprio edifício. Com um saldo produtor superior significativamente superior, este edifício apresenta-se simultaneamente como uma solução interessante para fornecimento de energia numa região remota sem impacto paisagístico e como um potencial disruptor da rede elétrica. Sistemas de armazenamento podem ser também soluções interessantes para eventual aproveitamento ou regulação da energia utilizada ou exportada para a rede.

A componente de BIPV, distribuída entre as fachadas sul nascente e sul poente, representa cerca de 20% da potência total instalada e corresponde a 13% do total de energia gerada. Ainda que a produtividade global das aplicações nas fachadas seja inferior às da cobertura, a sua orientação e inclinação permite uma maior produtividade nas horas iniciais e finais de disponibilidade solar.

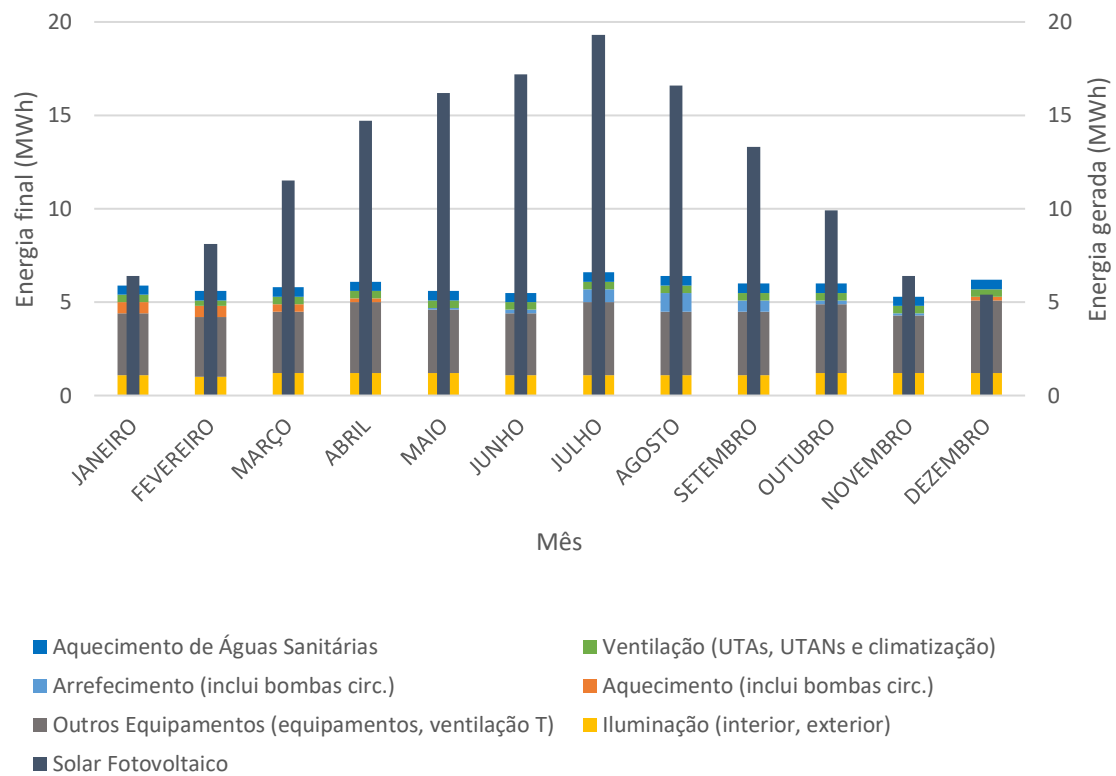


Figura 5.36 - Utilização de energia final por mês. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).

Analisando o gráfico da figura 5.36 imediatamente se percebe o saldo excedentário entre a energia gerada e a consumida. A utilização de energia elétrica mensal, ao longo do ano, oscila entre 5 e 6 MWh, destacando-se como referido anteriormente, o consumo dos equipamentos, ventiladores em operação permanente e o fogão da sala de provas, cuja utilização se encontra desfasada da disponibilidade solar para produção de energia.

Embora a totalidade de energia fornecida pelo parque solar seja sempre superior à necessária para o edifício da adega, a importação tem ainda um peso significativo, devido aos desfasados.

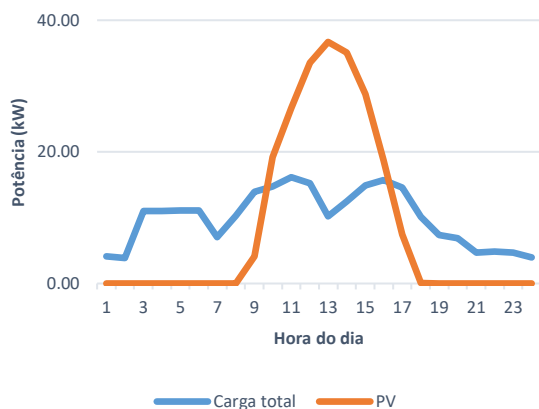


Figura 5.37 - Geração / Carga de consumo no dia 6/1.

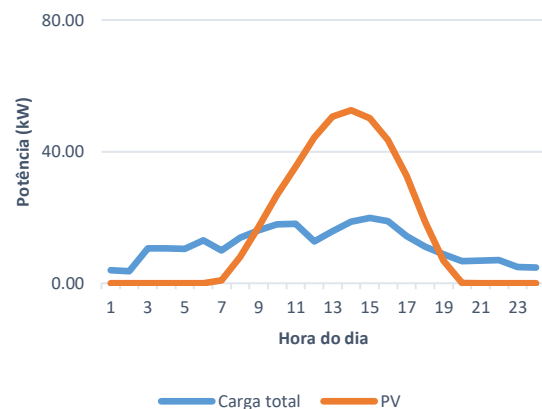


Figura 5.38 - Geração / Carga de consumo no dia 14/8.

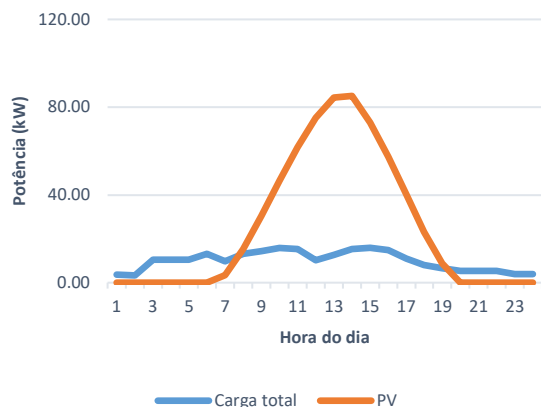


Figura 5.39 - Geração / Carga de consumo no dia 8/5.

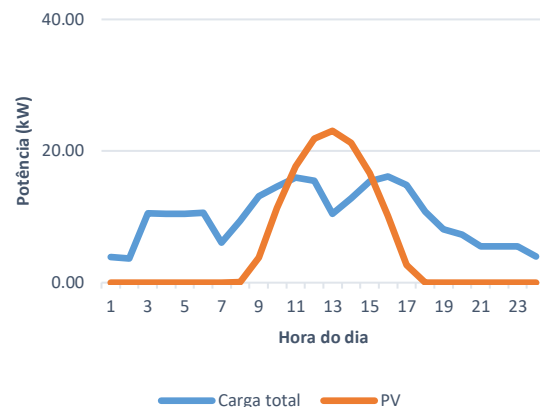


Figura 5.40 - Geração / Carga de consumo no dia 16/11.

Nas figuras 5.37 a 5.40 encontram-se representados quatro dias típicos, para a estação de inverno, versão e ainda dois para meia-estação. Ao longo do dia, nas horas de disponibilidade solar, o parque solar satisfaz as cargas necessárias à operação do edifício, tendo ainda um excedente significativo. Ainda assim, existem cargas de 5 a 20 kW, em dias mais exigentes, que não são cobertas devido à oscilação diária da disponibilidade solar e à nebulosidade característica da região.

De uma forma geral a potência máxima requisitada no edifício não ultrapassa os 20 kW, enquanto que num dia propício, a potência gerada pelo parque solar totaliza mais de 110 kW.

5.3. Terminal de Cruzeiros de Lisboa – Edifício Complementar Sudoeste

Este projeto, sujeito a elaboração de um pré-certificado energético, para fase de licenciamento, tem o propósito de constituir dois edifícios de apoio ao novo terminal de cruzeiros de Lisboa. Assim, existe o edifício Sudoeste, de forma retangular, e o edifício Nordeste, em forma de trapézio quase retangular. Ambos os edifícios têm dois pisos, em *open space*, com zonas comuns compartimentadas. Cada piso terá utilização e sistema de climatização independentes, sendo como tal considerado como uma fração independente, do tipo Pequeno Edifício de Serviços, para efeitos do certificado energético. Os pisos inferiores serão considerados como tendo o uso de “Pequena Loja” e os superiores como “Escritório”. No entanto, para o caso de estudo apenas se considerou o edifício localizado a sudoeste.

As fachadas sudeste têm como delimitação o rio Tejo e as opostas têm a Avenida Infante Dom Henrique. A envolvente do edifício é essencialmente composta por fachada envidraçada, privilegiando a iluminação natural, e cobertura plana. A arquitetura do projeto, que se encontra já edificado, é da autoria de João Luís Carrilho da Graça – Arquitetos. As figuras abaixo indicam a localização do projeto e a arquitetura exterior.

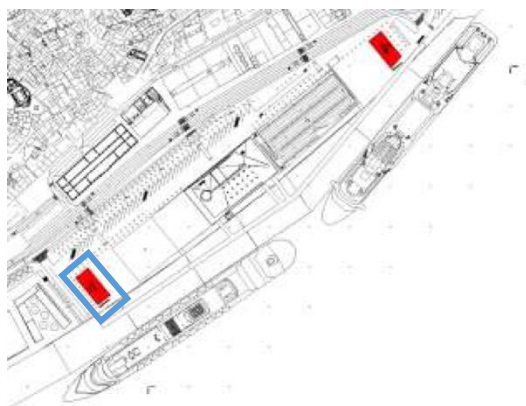


Figura 5.41 - Localização dos edifícios, vista aérea (Norte para cima, edifício sudoeste marcado a azul).
Fonte: Natural Works.



Figura 5.42 - Ilustração do terminal de cruzeiros e edifícios complementares em pontas opostas. Fonte: JLCG – Arquitetos.

A área total do edifício sudoeste corresponde a cerca de 1200 m², na sua maioria em *open space*, dos quais cerca de metade correspondem à fração do piso inferior e os restantes ao piso superior. O edifício nordeste tem os espaços muito semelhantes. O edifício é caracterizado pelo acabamento exterior em envidraçado, ao longo de todo o perímetro, protegido com lâminas exteriores. Existe assim um grande aproveitamento de iluminação natural. Na figura 5.43 é possível verificar a arquitetura exterior do edifício.

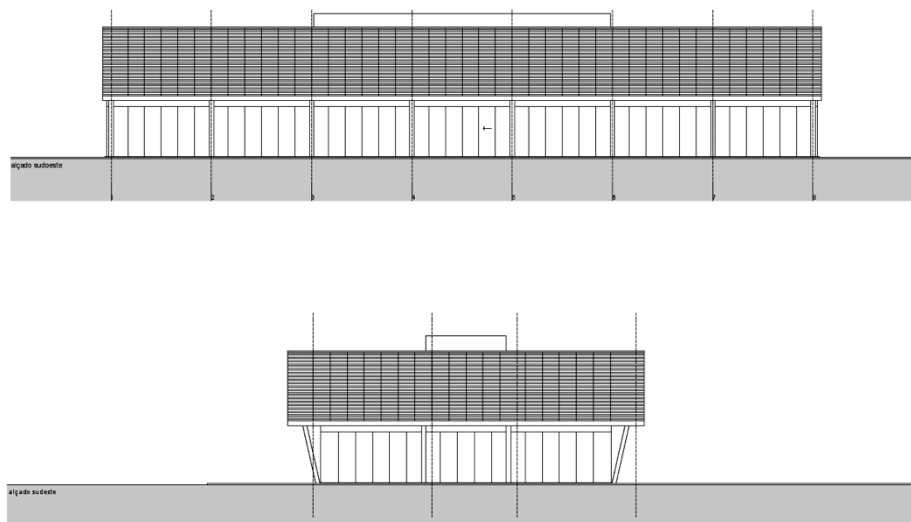


Figura 5.43 - Alçados: sudoeste (cima) e sudeste (baixo). Fonte: JLCG Arquitetos.

A iluminação baseia-se essencialmente em sistemas LED, de elevada eficiência. Os sistemas de produção térmica são independentes por fração e de eficiência elevada, cumprindo sempre os requisitos. O sistema de ventilação é mecânico, com insuflação e extração, mas conta ainda com ventilação natural que possibilita a renovação e climatização dos espaços. Não se considerou, para já, sistema de produção de AQS.

5.3.1. Análise climática

O local de implantação dos edifícios complementares do terminal de cruzeiros de Lisboa, situa-se nas imediações do Jardim do Tabaco, estando um e o outro edifício localizado em pontas opostas, com o edifício do terminal no centro, a cerca de 3 metros de altitude. Estes enquadram-se no NUTS 3: Grande Lisboa, correspondendo a uma zona de verão V3 e inverno I1. O clima é assim temperado, com uma temperatura média de 17°C.

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica
versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município

Lisboa

Zona climática

NUTS 3: Grande Lisboa
Latitude: 38.9 °N (nominal)
Longitude: 9.2 °W (nominal)
Altitude: 109 m (referência)

Local específico

Município: Lisboa
Altitude: 3 m

Dados climáticos

	Referência	Neste local
Estação de aquecimento		
Período:	5.3	5.0 meses
T média:	10.8	11.2 °C
Graus-dia:	1071	891 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	21.7	22.8 °C

Zonas de verão e inverno

V 3 I 1

preparar ficheiro
EPW (formato EnergyPlus Weather)

LNEG Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 5.44 - Zona climática (LNEG).

5.3.2. Caracterização do edifício

A estrutura do edifício é realizada em betão e em aço. A envolvente é composta na sua maioria por envidraçado, à exceção de uma faixa de vão opaco correspondente à altura de teto falso e da separação entre a zona de lixos e o exterior. Estas paredes são realizadas em alvenaria de tijolo, acabadas em chapa metálica de cor clara e isoladas termicamente pelo exterior da alvenaria. A cobertura plana é constituída por um sistema de painéis sandwich, assente em vigamento metálico e isolada termicamente. As lajes de pavimento são realizadas em betão estrutural e isoladas quando em contacto com o exterior.

O edifício divide-se essencialmente em duas zonas: escritórios e comércio. Entre estas é essencial o comportamento acústico. A compartimentação interior, quando não são paredes leves, é constituída por alvenaria de tijolo. Os tetos serão complementados com tetos falsos e absorção acústica.



Figura 5.45: Exterior do edifício, do lado sudoeste.



Figura 5.46: Exterior do edifício, do lado Nordeste.

Os vãos envidraçados são de vidro duplo em caixilharia metálica com corte térmico. No piso inferior o vidro é complementado com uma camada de baixa emissividade. No piso superior, os vãos orientados a Nordeste e Sudoeste, mais longos, são protegidos por dispositivos exteriores de sombreamento, constituídos por painéis de lâminas de madeira de disposição horizontal e orientáveis. O alçado orientado para o rio Tejo, a Sudeste, dispõe de uma pala horizontal e ainda sombreamentos móveis exteriores em lona pouco transparente de cor clara. No piso inferior os vãos são sombreados pela laje prolongada do piso superior, e ainda possuem sombreamentos móveis exteriores em lona pouco transparente de cor clara em todas as orientações exceto Noroeste, que se encontra no quadrante Norte e por isso encontra-se dispensado de cumprir requisitos de fator solar.



Figura 5.47 - Interior do edifício, piso 0, em desenvolvimento.

A potência da iluminação instalada é composta essencialmente por sistemas de elevada eficiência do tipo LED.

A central de produção térmica será independente por fração e, nesta fase, será considerada como um sistema por defeito, cumprindo os requisitos de eficiência estabelecidos pelo regulamento.

A ventilação é realizada via insuflação e extração mecânicas, nos tetos falsos. Os edifícios dispõem ainda de ventiladores de extração nas instalações sanitárias.

As cargas elétricas dos restantes equipamentos foram estimadas considerando as densidades de potência apropriadas, em função da tipologia dos espaços.

É proposta no pré-certificado, como medida de melhoria, a implementação de um sistema fotovoltaico por fração, para cada edifício. Foram considerados sistemas de 40 módulos de 255Wp, com inclinação de 5° e azimute de -39°C. Este sistema, com inclinação adequada à preservação da arquitetura do edifício, tem uma capacidade total de 10 kW por fração.

5.3.3. Estudo proposto

Dispondo um sistema de geração solar fotovoltaico como medida de melhoria no pré-certificado energético, propôs-se então analisar o incremento da capacidade instalada, quer através de uma maior ocupação da cobertura, quer através da integração de potência nas fachadas. A principal questão a avaliar nesse momento constou então, da necessidade de implementar este sistema de forma a preservar a arquitetura do edifício que dispõe de fachadas cobertas praticamente na sua totalidade em envidraçados, protegidos com sistemas de sombreamento.

Propôs-se então otimizar a utilização da cobertura como local para implantação do parque solar, de forma a não prejudicar a arquitetura do edifício. Assim, instalando os painéis solares na horizontal,

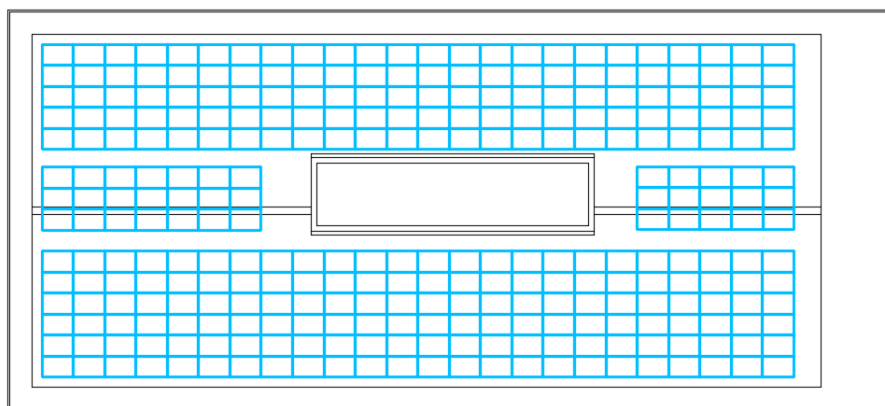


Figura 5.48 - Configuração do parque solar na cobertura. Norte para o canto superior esquerdo. Adaptado de: JLCG – Arquitetos.

diretamente sobre a cobertura, ocupam-se cerca de 490 m² de área total. Optou-se novamente pelo modelo utilizado no primeiro caso de estudo, de elevada eficiência: SunPower X21-345W. Através da implementação de 300 módulos, totaliza-se uma capacidade instalada de 104 kW.

Nas figuras abaixo apresentam-se a configuração da instalação em planta e o seu aspeto em geometria de três dimensões. Na cobertura observam-se os quatro grupos de coletores, com uma área técnica no centro.

Na tabela 5.7 encontram-se as características do sistema de geração solar fotovoltaico, em maior detalhe.

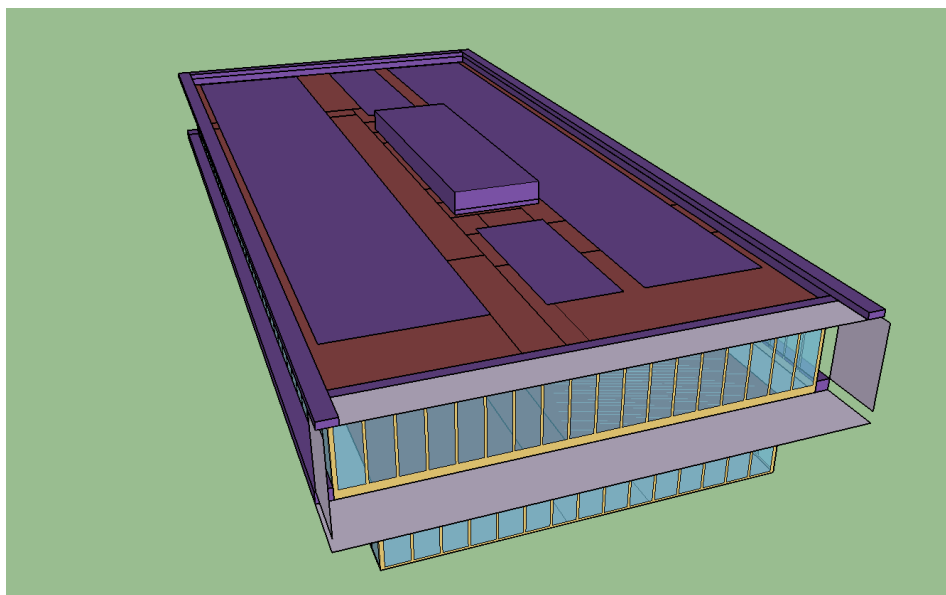


Figura 5.49 - Modelo geométrico da simulação com o parque solar na cobertura.

Tabela 5.7 - Características do parque solar.

	Cobertura
Orientação (°)	-39
Inclinação (°)	0
Área painel (m ²)	1.63
Área (m ²)	489
Nº painéis	300
Potência (Wp)	345
Potência instalada (kWp)	104
Eficiência (%)	21.5
Equipamento	SunPower X21-345W

No caso de estudo final apresenta-se um exemplo de BAPV que, com alguma adaptação na cobertura poderia até ser implementado como BIPV, substituindo a totalidade do acabamento da cobertura. Ainda assim, com um impacto praticamente nulo na arquitetura do edifício, dispõe-se de uma potência de 104 kW para geração de energia solar.

5.3.4. Resultados e discussão

O Edifício Complementar do Terminal de Cruzeiros (sudoeste) apresenta um consumo anual de energia elevado. Embora no certificado energético as frações se encontrem definidas como “pequeno edifício de serviços”, a área total agregada dos espaços ultrapassa os mil metros quadrados. Em espaços com grandes envidraçados, no clima ameno, mas quente de Lisboa, esperam-se consumos significativos de climatização em arrefecimento, ainda que estejam equipados com as proteções recomendadas e necessárias. Espera-se também uma utilização de energia intensiva para iluminação e ventilação dos espaços. Os dados exibidos são resultados compilados e tratados da simulação dinâmica multizona realizada com a finalidade de obtenção do certificado energético, no qual ambas as frações do edifício complementar sudoeste obtiveram classe **B-**.



Figura 5.50 - Distribuição da utilização de energia final no edifício. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).

Ao longo do ano, o total de energia absorvida atinge os 114 MWh, desagregada por tipo na figura acima apresentada. Enquanto que as cargas de arrefecimento, com uma fatia significativa, ocorrem tipicamente em horas de disponibilidade solar, o mesmo não se verifica na iluminação e nos equipamentos (que agregam ventilação permanente). Estes agregados contam com mais de 70% do consumo anual de energia e prolongam-se por horas desfasadas com a geração solar fotovoltaica. Espaços de escritórios e de lojas requerem sempre níveis elevados de iluminância, assim como renovação do ar apropriada.

Tal como para os casos de estudo anteriores, obtiveram-se os outputs horários da simulação da energia gerada pelo parque solar ao longo de um ano. Assim, apresentam-se os balanços com os cenários considerados de venda total à rede elétrica ou regime de autoconsumo, nas tabelas 5.8 e 5.9, respetivamente:

Tabela 5.8 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime UPP.

	(MWh/ano)	(k€/ano)
Consumo	- 114	- 19
Geração	+ 155	+ 15
Balanço	+ 41	- 4

Assumindo o sistema instalado como uma unidade de pequena produção, obteve-se uma situação diferente dos casos anteriores. Ainda que o balanço de trocas energéticas com a rede seja positivo, esta diferença é inferior à do caso de estudo anterior e insuficiente para compensar a diferença das tarifas de compra e venda de energia elétrica. Assim, o saldo anual em termos de custos apresenta-se negativo. Tem-se assim o edifício acima da linha NZEB, mas com um saldo anual negativo, em termos de custos, na ordem dos 4.000 €.

Tabela 5.9 - Fluxos energéticos, monetários e balanço em regime de autoconsumo.

	(MWh/ano)	(k€/ano)
Importação	- 34	- 6
Exportação	+76	+ 3
Consumos evitados	+ 79	+ 13
Balanço Imp/Exp	+ 42	- 3
Balanço com consumos evitados	+ 121	+ 10

Em alternativa ao regime descrito anteriormente e utilizando efetivamente a energia gerada pelo parque solar, tem-se um cenário que mais se assemelha ao do caso de estudo da adega, no qual a importação encontra-se na mesma ordem de valores. No entanto, neste caso existe um maior equilíbrio entre a exportação e os consumos evitados, ou seja, energia gerada efetivamente absorvida pela operação do edifício. Assim, obteve-se um balanço anual combinado entre importação, exportação e consumos evitados em *superavit*, com um saldo monetário positivo em cerca de 10.000 €.

Neste caso considera-se então mais vantajoso a operação em autoconsumo, com um balanço anual líquido superior ao cenário de UPP e com uma fatura anual inferior, ou positiva ainda, considerando os custos evitados.

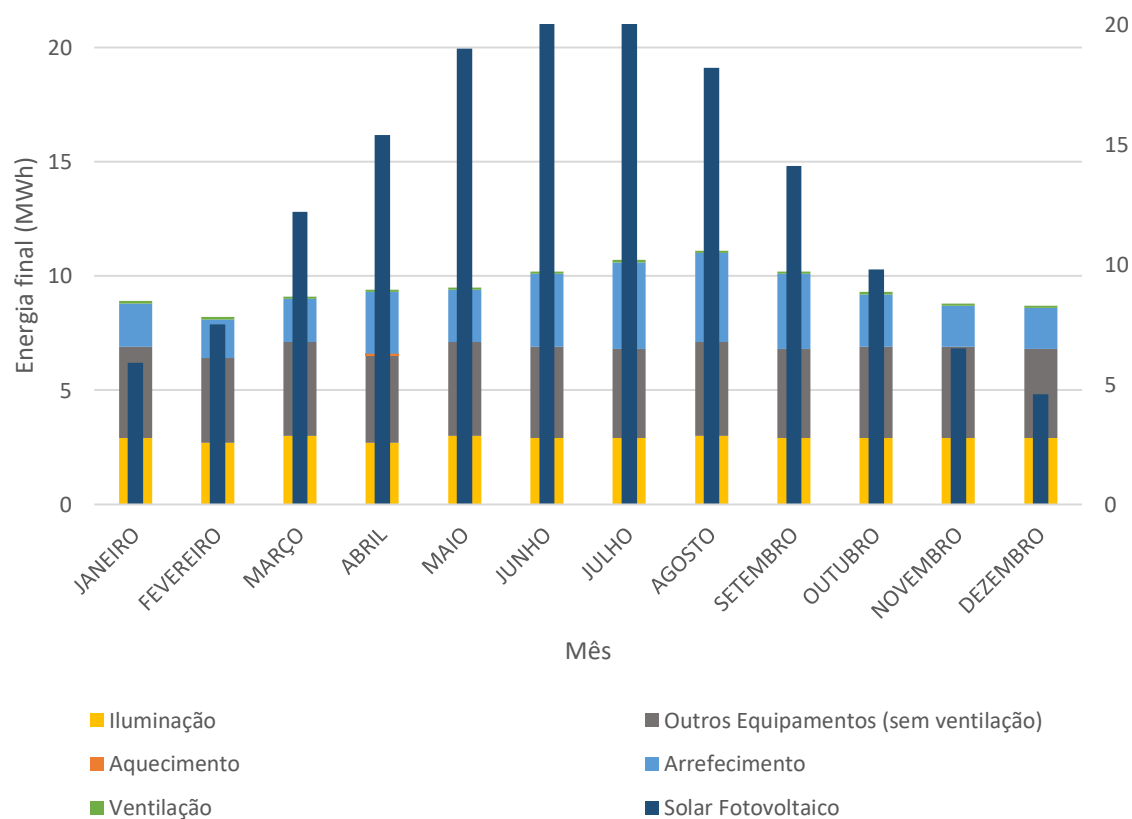


Figura 5.51 - Utilização de energia final por mês. Fonte: Resultados do modelo de simulação do edifício (NaturalWorks).

Na figura 5.51 pode-se verificar a evolução anual da utilização de energia final ao longo do ano, assim como a energia solar fotovoltaica gerada. Em primeiro lugar, destaca-se a necessidade de arrefecimento dos espaços não só nos meses de arrefecimento, como em todos os restantes. Seguidamente é de notar a oscilação da disponibilidade solar ao longo dos meses, cobrindo totalmente e em excesso a procura energética, de março a outubro e sendo insuficiente no período remanescente.

O primeiro dado deve-se à envolvente do edifício ser composta por vãos envidraçados, enquanto que o segundo se deve à normal variação da altura solar máxima anual, combinada com a instalação dos coletores na horizontal.

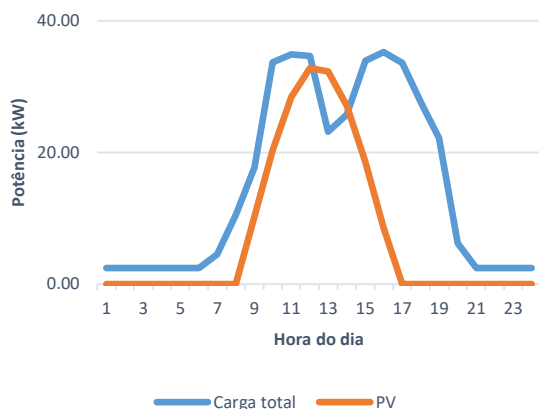


Figura 5.52 - Geração / Carga de consumo no dia 6/1.

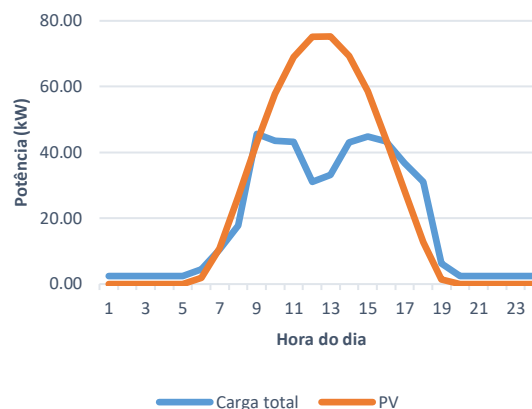


Figura 5.53 - Geração / Carga de consumo no dia 14/8.

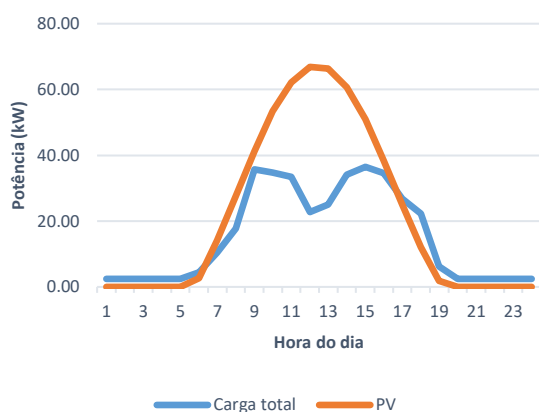


Figura 5.54 - Geração / Carga de consumo no dia 8/5.

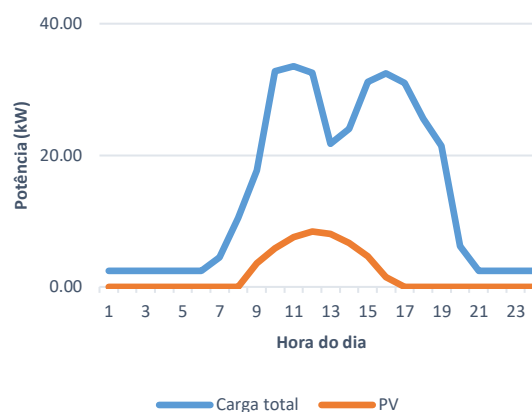


Figura 5.55 - Geração / Carga de consumo no dia 16/11.

Nas figuras apresentadas verifica-se a evolução da oferta e procura de energia elétrica no edifício complementar sudoeste, em quatro dias distintos. Na última imagem observa-se o que ocorre em dias de reduzida altura solar e nebulosidade. Nos quatro dias observa-se uma quebra na utilização de energia, associada à hora de almoço e consequente redução de atividade nos espaços. De uma forma geral, nos dias (e nas horas) de maior disponibilidade solar é possível manter a autonomia do edifício. No entanto, a geração solar revela-se insuficiente para cobrir a procura energética em dias mais exigentes, especialmente na presença de nebulosidade, gerando uma potência máxima de 8 kW em 104 kWp instalados.

Capítulo 6 - Conclusões

Apresentaram-se nesta dissertação distintas definições e conceitos em torno dos edifícios autónomos, sejam em aquecimento ou para restantes necessidades energéticas. Expôs-se ainda a cronologia e o contexto atual da regulamentação do desempenho energético de edifícios, a nível da UE e de Portugal. Verifica-se que o *standard* de “nZEB” ou de edifício de necessidades quase nulas de energia, embora fomente a eficiência energética, não é o mais indicado, uma vez que se geram disparidades entre estados-membros da UE na adaptação à sua realidade. Assim, deve ser incentivada a geração de energia renovável local, via solar fotovoltaico ou outros meios, aliada a uma boa qualidade térmica da envolvente e sistemas eficientes. Desta forma, procurar aproximar os edifícios da autonomia energética. De facto, o futuro da geração energética é descentralizado, em unidades de menor dimensão e capacidade, com as diversas fontes (e armazenamento) em regime de complementaridade, mantendo uma rede estável e eficiente. Assim, é fundamental procurar a integração de sistemas de geração renovável ao local, paisagem e arquitetura. Apresentaram-se então as soluções de BAPV, com foco no desempenho, e BIPV, com foco na integração estética, como medidas para o efeito.

Apresentaram-se três casos de estudo de edifícios de serviços cuja tipologia se traduz em consumos energéticos intensivos. Os edifícios selecionados dispõem de localizações, arquiteturas e regimes de utilização totalmente distintos. O edifício da biblioteca, embora dispondo de uma grande área de envolvente exterior, tem o desafio de uma grande porção desta área se encontrar sombreada ou com orientação não viável para geração de energia solar. Considerando a utilização intensiva e contínua de energia do edifício, verificou-se a impossibilidade de gerar energia suficiente para alcançar a autonomia em balanço anual líquido. Ainda assim, obtém-se uma redução significativa na fatura anual de energia. O edifício da adega e turismo rural, usufrui de um horizonte desimpedido à sua volta, sendo uma amostra interessante para a integração de geração solar fotovoltaica. Neste caso, com o parque solar instalado na cobertura e em troços de fachada com orientação sul, a geração anual apresentou-se suficiente para alcançar a autonomia energética, em elevado excedente de produção, face às necessidades. O edifício complementar sudoeste do terminal de cruzeiros apresenta a sua forma de construção mais simples, mas com o desafio de dispor da sua fachada essencialmente composta por vão envidraçados. Assim, realizando o estudo com o parque solar instalado na cobertura, de forma plana, foi possível cobrir as necessidades de energia anuais. O regime UPAC revelou-se mais vantajoso para os três casos, devido essencialmente aos custos evitados com uma tarifa energética significativamente superiores ao valor de venda em regime UPP. Constata-se assim a necessidade de considerar vários fatores, quando se procura alcançar a autonomia energética via fontes de energia renováveis localizadas no próprio edifício: o clima, seja para a disponibilidade solar, ou para as necessidades de aquecimento e arrefecimento; a arquitetura do edifício, uma vez que influencia diretamente a viabilidade de instalação do parque solar, pela construção em si ou pela orientação; a construção em redor, que pode provocar obstrução e sombreamento e limitar a produtividade do sistema; a correspondência entre horas de disponibilidade solar e horas de utilização de energia, que podem desequilibrar a balança entre a energia efetivamente o utilizada no edifício e a energia exportada ou importada da rede; as tarifas de compra e venda de energia, altamente díspares e finalmente, a integração estética, que tem de ser fomentada e respeitada, promovendo a harmonia entre a geração renovável e as paisagens e arquiteturas existentes.

Pode-se afirmar então: é possível. Nem todos os edifícios poderão ser autónomos, mas uma grande porção certamente o poderá ser. É fundamental assim ter estas soluções em mente ainda em fase de projeto de um edifício, quando existe flexibilidade para desenvolver um edifício eficiente e autónomo. No caso de edifícios de construção mais antiga, existem já sistemas de telhas solares de coloração semelhante à tradicional telha utilizada em Portugal.

Desta forma, realça-se ainda o papel que a capacidade de armazenar energia terá em desbloquear a viabilidade destes sistemas em edifícios cuja geração seja insuficiente ou simplesmente desfasada do consumo, carregando as baterias em horas de excedente de produção ou de custo de energia inferior e disponibilizando energia em horas de grandes picos de consumo, ou à noite, por exemplo. De acordo com um estudo da EY (Energy Countdown Clock, 2018), a paridade de custo com a rede elétrica será atingida já em 2021 na Oceania, quando o custo de gerar energia localmente via sistemas solares fotovoltaicos, com armazenamento em baterias, será inferior a adquirir energia à rede elétrica. Na Europa esta paridade será alcançada pouco tempo depois. Assim cada vez mais será rentável o investimento em edifícios autónomos. Isto não se reflete com as ferramentas atuais (regime UPP e UPAC) e nas tarifas inerentes, em Portugal, uma vez que os regimes existentes procuram proteger a estabilidade da rede elétrica. Importa ainda realçar a valorização imobiliária em edifícios sustentáveis. De acordo com um estudo conduzido por A. Mangialardo, E. Micelli e F. Saccani em 2018, os edifícios “verdes” não só apresentaram um valor de mercado mais elevado, como a sua absorção se revelou ocorrer em metade do tempo, comparado com edifícios não certificados. A procura destes edifícios cresce associada a fatores como a sensibilização para a necessidade de edifícios sustentáveis, necessidades reduzidas de manutenção e de custos com energia, entre outros.

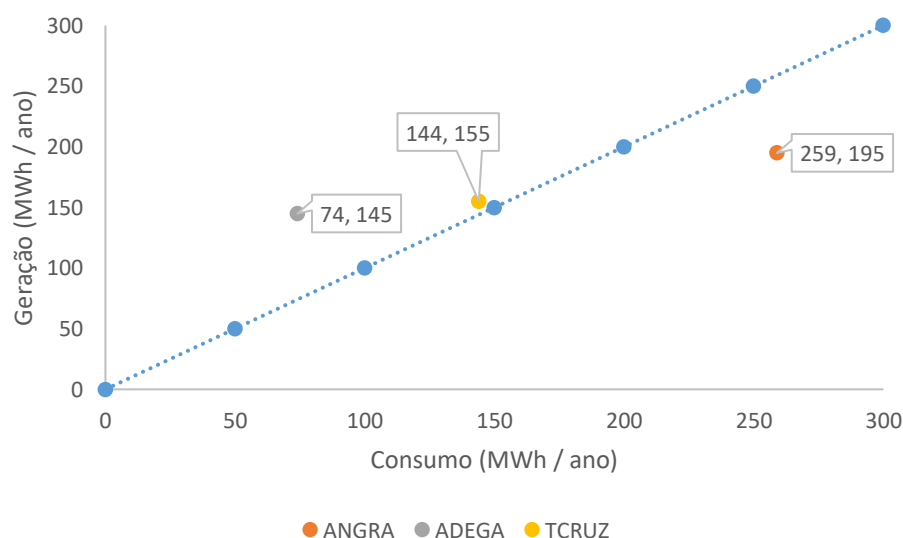


Figura 6.1 - Enquadramento do balanço anual líquido dos casos de estudo.

Capítulo 7 - Referências Bibliográficas

World Bank, IEA Statistics © OECD/IEA, 2014. [Online]. [Acedido: Fevereiro 2018]. Disponível: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&start=1960&view=chart>

"Population Growth, Resource Consumption, and The Environment." National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, and Institute of Medicine, 1993. Population Summit of the World's Scientific Academies. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/9148.

EIA, 2004. "Annual Energy Review 2003", Energy Information Administration, Report No. DOE/EIA-0384(2003), September 7, 2004.

CDIAC, 2017. Boden, T.A., G. Marland, and R.J. Andres. 2017. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001_V2017. [Online]. [Acedido: Fevereiro 2018].

DGEG, 2018. Observatório da Energia, ADENE, 2018. Dados da Direcção-Geral da Energia e Geologia. [Online]. [Acedido: Fevereiro 2018].

Reformulação do EPBD, 2010. "DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings" (recast).

Silva, 2017. "Direito da Eficiência Energética". Suzana Tavares da Silva, 2017.

R. Perez e M. Perez, 2015. "A FUNDAMENTAL LOOK AT SUPPLY SIDE ENERGY RESERVES FOR THE PLANET". Marc Perez & Richard Perez, 2015.

PVSITES, 2016. "BIPV market and stakeholder analysis and needs – Project Report." (2016). PVSITES – R2M, Onyx Solar, Flisom, BEAR-iD, Acciona. [Online]. Disponível: <http://www.pvsites.eu/downloads/download/report-bipv-market-and-stakeholder-analysis-and-ne>. [Acedido: Fevereiro 2019].

Global Market Outlook for Solar Power, 2019 - 2023 – SolarPower Europe. [Online]. Disponível: http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/05/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf?cf_id=310. [Acedido: Maio 2019].

BIPV Report, 2017, SUPSI – SEAC. “Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins status report, 2017.” SUPSI – SEAC.

SUPSI – SEAC, 2015. “BIPV Product overview for solar facades and roofs report 2015”. SUPSI – SEAC, 2015.

Floor J.W.Osseweijer et. al., 2018. “A comparative review of building integrated photovoltaics ecosystems in selected European countries”. Floor J.W.Osseweijer, Linda B.P.van den Hurk, Erik J.H.M.Teunissen, Wilfried G.J.H.M.van Sark.

PV Status Report 2016, Arnulf Jäger-Waldau. “PV Status Report - Joint Research Centre for Policy Report” – European Commission.

H.P. Gang, 2012. “Advances in Solar Energy Technology: Volume 2: Industrial Applications of Solar Energy”

Esbensen e Korsgaard, 1977. “Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark”. Torben V. Esbensen, Vagn Korsgaard, 1977.

Laudsten, 2008. “Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings”. J. Laudsten, 2008.

Iqbal, 2004. “A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland”. Renewable Energy 29, 277-289. M. Iqbal, 2004.

Sartori, 2012. “Net zero energy buildings: A consistent definition framework”. Igoe Sartori, Assunta Napolitano, Karsten Voss, 2012.

Torcellini, Pless e Deru, 2006. “Zero Energy Buildings: A critical look at the Definition”. P. Torcellini, S. Pless e M. Deru, 2006.

APREN, 2019. “Balanço da Produção de Eletricidade na Região Autónoma da Madeira” e “Balanço da Produção de Eletricidade na Região Autónoma dos Açores”. [Online]. [Acedido: Maio 2019]. Disponível: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>

REN, 2019. “Produção renovável abastece 52% do consumo nacional em 2018” [Online]. [Acedido: Maio 2019]. Disponível: https://www.ren.pt/pt-PT/media/comunicados/detalhe/producao_renovavel_abastece_52__do_consumo_nacional_em_2018/

Photoelectric effect, 2018. [Online]. Encyclopædia Britannica, inc. [Acedido: Dezembro 2018]. Disponível: <https://www.britannica.com/science/photoelectric-effect>

J. Morrison, 2010. “Photoelectric effect” em “Chapter 1 - The Wave-Particle Duality” de “Modern Physics”, 2010.

Global CCS Institute, 2012. “3.1 Characterisation of solar power variability” em “Solar intermittency: Australia's clean energy challenge”, 2012. [Online]. [Acedido: Maio 2019]. Disponível: <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/solar-intermittency-australias-clean-energy-challenge/31-characterisation-solar-power-variability>

M. Taufiqul et al., 2013. “Investigation of Energy Storage Systems, Its Advantage and Requirement in Various Locations in Australia” Journal of Renewable Energy Volume 2013, Article ID 835309. M. Taufiqul, A. Oo, A. Ali.

D. Chapin, C. Fuller, G. Pearson, 1954. “A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power.” Journal of Applied Physics 25, 676 (1954) D. M. Chapin, C. S. Fuller, G. L. Pearson.

Passive House Institute [Online]. [Acedido: Fevereiro 2018]. Disponível: http://passivehouse.com/02_informations/01_whatisapassivehouse/01_whatisapassivehouse.htm

ECOFYS, 2014. “*Overview of Member States information on NZEBs Working version of the progress report - final report*”. Jan Groezinger, Thomas Boermans, Ashok John, Jan Seehusen, Felix Wehringer, Martin Scherberich, 2014. Ecofys by order of: European Commission

A. Durusu, 2016. “Effect of PV Orientation on Energy Generation and Economy: A Case Study for Istanbul-Turkey”. International Journal of Advancements in Mechanical and Aeronautical Engineering. 3. 37-40 (2016). Ali Durusu.

S. Shareef, 2017. “The Impact of Tilt Angle on Photovoltaic Panel Output”. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences. 29. 112-118. (2017). Sarkar Mohammed Shareef.

Onyx Solar [Online]. [Acedido: Agosto 2018]. Disponível: <https://www.onyxsolar.com/genyo-building>

M. Aghaei, 2012. “A Review on Comparison between Traditional Silicon Solar Cells and Thin-Film CdTe Solar Cells” (2012). Mohammadreza Aghaei.

B. Laclau, 2018. “Energy Countdown Clock” – EY. [Online]. [Acedido: Abril 2019]. Disponível: https://www.ey.com/en_gl/digital/energycountdownclock

A. Mangialardo, E. Micelli e F. Saccani, 2018. “Does Sustainability Affect Real Estate Market Values? Empirical Evidence from the Office Buildings Market in Milan (Italy)”

